



Evolution de la flèche Mandji de l'holocène à l'actuel. Analyse et cartographie du risque côtier

Zephirin Menie Ovono

► To cite this version:

Zephirin Menie Ovono. Evolution de la flèche Mandji de l'holocène à l'actuel. Analyse et cartographie du risque côtier. Océan, Atmosphère. Université de Nantes, 2010. Français. NNT : . tel-00492018

HAL Id: tel-00492018

<https://theses.hal.science/tel-00492018>

Submitted on 14 Jun 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE

Pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université de Nantes
Discipline : **Géomorphologie Littorale**

**ÉVOLUTION DE LA FLÈCHE MANDJI DE L'HOLOCENE A L'ACTUEL.
ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DU RISQUE COTIER**

Présentée et soutenue publiquement le 20/05/2010 par :

Zéphirin MENIE OVONO



Directeur de thèse : Marc ROBIN, Professeur Université de Nantes

Membres du jury :

Stéphane COSTA, Professeur à l'Université de Caen, rapporteur.

Hervé REGNAULT, Professeur à l'Université de Rennes 2, rapporteur

Françoise GOURMELON, Directrice de Recherche au CNRS, examinatrice

Paul FATTAL, Professeur à l'Université de Nantes, examinateur.

Marc ROBIN, Professeur à l'Université de Nantes, directeur de thèse.

AVANT-PROPOS

La thèse est un exercice personnel passionnant, parfois frustrant, c'est un choix, une ambition, une initiation à la maïeutique. Aussi, après ces années de galère, de résistance, de réflexion et quelques fois de désillusion, je témoigne ici la gloire du Dieu tout puissant.

Ce challenge arrivant à sa fin, je voudrais tout d'abord exprimer ma reconnaissance à mon Directeur de thèse, Pr. Marc ROBIN, pour avoir accepté de m'encadrer dans ce travail de thèse et pour m'avoir initié aux SIG et à la Télédétection. Je tiens à souligner sa patience et sa contribution pour l'aboutissement de ces travaux.

Cette thèse, est avant tout un travail de terrain, de naturaliste, et un travail d'équipe. Il n'aurait pu aboutir sans une myriade de rencontres, de collaborations, de soutien matériel et moral, je tiens à remercier :

- Laboratoire IMAR (Image, Mer et Aménagement Régional) de l'Université de Nantes
- Institut National de Cartographie (Gabon)
- TOTAL GABON (Direction des Activités Pétrolières-Service des Travaux-Unité des Projets)
- CNDIO (Centre National de Données et d'Informations Océanographiques) Université Omar Bongo
- L'ensemble du personnel du Laboratoire GEOLITTOMER et mes camarades du bureau des doctorants du sous-sol du château du tertre.

Il ya bien sûr des hommes et des femmes qui m'accompagnent depuis longtemps dont l'aide et le soutien moral ont été bénéfique à la réalisation de cette thèse : ELLA MENIE Vincent, ONDO METHOGO Emmanuel, OLLOMO MEZUI Georges, DRAY Anne laure, MINTHOGO ALFONCE et épouse, EDOU MINKO Ambroise, EDZANG ONDO Macaire, ABAGA ELLA Grégoire, EFOUTAME Brigitte, MENIE M'EDOU Edouard, NNANG NNANG Amaral. Trouvez dans ces quelques lignes ma reconnaissance.

Une pensée forte et une reconnaissance à ma tendre épouse MENIE OVONO Annick Laurence née MBANG qui pendant les moments de galère, jours et nuits a supporté mes états d'anxiété et de mauvais humeur. Tu as apportée l'énergie nécessaire à l'aboutissement de cette thèse, c'est pour moi l'occasion de te dire que « tu es la maman des MENIES » pour la vie et pour le bonheur.

A mes enfants : MENIE Venceslas, MENIE Nima, MENIE Darlaine, MENIE Florian, que cette œuvre vous sert de source d'inspiration et de motivation, « J'ai tracé la voie, à vous de la suivre ».

Enfin, je remercie mes frères et sœurs : ALLOGO OVONO Venan, ANGUE OVONO Jeannette, MVO ONDO Gaspard, NKOGO OVONO Constantin, BILOGO OVONO Gèneviève, MBA OVONO Nestor, ONDO OVONO Innocent, AKELE OVONO Suzie Causette, OTOGO OVONO Patrice, ELLA OVONO Léandre Emmanuel, BISSIE OVONO Michelle. Une pensée pour mes neveux et nièces.

Je dédie cette thèse,

*à mon défunt petit frère OVONO OVONO Landry
à mon défunt papa OVONO ALLOGO Jean Richard
et à ma maman NKENE OKOUE Madeleine*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	2
INTRODUCTION GENERALE	5
Chapitre 1 : CONTEXTE ACTUEL ET ÉVOLUTION DE LA FLÈCHE LITTORALE DEPUIS LA TRANSGRESSION FLANDRIENNE	26
INTRODUCTION.....	27
1.1-DE L’HOLOCENE AU CONTEXTE OCEANIQUE ACTUEL.....	28
1.2 –PRÉSENTATION PHYSIQUE ET DEGRÉ D’ANTHROPISATION	43
 Chapitre 2 : FORCAGES ACTUELS EXPLICATIFS DE LA CINÉMATIQUE DU TRAIT DE CÔTE .	66
INTRODUCTION.....	67
2.1-LES AGENTS DE LA DYNAMIQUE LITTORALE	68
2.2- LES CELLULES HYDROSEDIMENTAIRES	78
2.3-EMPRISE HUMAINE ET MODIFICATION DU TRAIT DE CÔTE	81
2.4-CONCLUSION PARTIELLE	90
 Chapitre 3 : CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE ET ÉVOLUTION DES PETITS FONDS MARINS	91
INTRODUCTION.....	92
3.1-MORPHODYNAMIQUE DU SYSTEME COTIER EN ENVIRONNEMENT TIDAL	93
3.2-APPROCHE GLOBALE DE LA CINÉMATIQUE DU TRAIT DE COTE DE LA FLECHE MANDJI ENTRE 1962 ET 2001.....	99
3.3-APPROCHE SECTORIELLE DE LA CINÉMATIQUE DU TRAIT DE COTE : ZOOM SUR LE CAP LOPEZ.....	114
3.4- IMPACT DES OUVRAGES DE PROTECTION CÔTIÈRE SUR LA CINEMATIQUE DU TRAIT DE CÔTE DE 1958 À 2007	129
3.5-ANALYSE DIACHRONIQUE DE L’ÉVOLUTION DES PETITS FONDS MARINS ENTRE 1958 ET 2007 : SECTEUR DU CAP LOPEZ	136
 CHAPITRE 4 : EVOLUTION DE LA ZONE RETROLITTORALE ENTRE 1990 ET 2001	155
INTRODUCTION.....	156
4.1-MATERIELS ET METHODE	157
4.2-LES IMAGES SATELLITALES ET LEURS TRAITEMENTS.....	160

4.3-CLASSIFICATION DES IMAGES LANDSAT TM 1990 ET ETM+ 2001	162
4.4- EVALUATION DES CLASSIFICATIONS DES IMAGES	171
4.5- ANALYSE STATISTIQUE DES CHANGEMENTS DE L'OCCUPATION DU SOL ENTRE 1990 ET 2001	173
4.6- CONCLUSION PARTIELLE	180
 CHAPITRE 5 : ANALYSE ET GESTION DE L'EROSION COTIERE DANS LA FLÈCHE MANDJI	181
INTRODUCTION.....	182
5.1-IMPACTS DE L'ÉROSION CÔTIÈRE	183
5.2- CARTOGRAPHIE DE L'ALEA.....	189
5.3-ENJEUX SUR LE LONG TERME ET LEUR CARTOGRAPHIE.....	194
5.4-REMEDIATION : ACTIONS A MENER.....	198
 CONCLUSION GÉNÉRALE	224
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	226
ANNEXES	236

INTRODUCTION GENERALE

Les travaux exposés dans cette thèse, traitent de la mobilité de la flèche sableuse Mandji à différentes **échelles spatiales** et **temporelles** et du risque induit. Ils visent d'une part, à déterminer le rôle des **forçages naturels** et **anthropiques** dans l'évolution de cette forme littoral et d'autre part, à analyser l'aléa **érosion côtière**.

L'ORIGINE DE LA THESE

La question de la mobilité du trait de côte du Cap Lopez a été l'objet d'une étude dans le cadre de mon DEA à l'Université Jean Monnet de Saint Etienne (Menie, 2005). En 2007, à la demande de la société TOTAL GABON, un rapport de synthèse sur l'érosion côtière a été réalisé (Menie, 2007). La limitation de ces études à la seule zone du Cap Lopez ne permettait pas d'emblée d'appréhender le phénomène dans son ensemble. Cette thèse constitue donc un prolongement de ces recherches à l'échelle globale de la flèche Mandji.

Les études faites sur les systèmes flèches littorales et sur l'érosion côtière ont guidé notre réflexion sur le cas précis de la flèche Mandji. Il s'agit des thèses réalisées dans les domaines macrotidal (Stéphan, 2009) et microtidal (Mombé, 2000; Mounganga, 2001; Rabenkogo, 2007).

LE CHOIX DU SUJET

Le choix de la problématique de la thèse est motivé par un contexte d'érosion généralisée de la côte du golfe de Guinée. La cartographie de l'aléa produite par le PNUE¹ en 1989 (fig.1) reste non exhaustive, car si elle présente le phénomène dans sa globalité, elle ne prend pas en compte les multiples réalités locales.

Le littoral gabonais, à l'instar de ceux des Etats du golfe de Guinée connaît depuis un peu plus d'une trentaine d'années des mutations importantes de son linéaire côtier² (Cuq & Campredon, 1997). Ces auteurs estiment que les changements constatés sont en lien avec un regain d'intensité de la dynamique marine (tendance actuelle de l'élévation du niveau global de la mer) et des réponses des sociétés humaines aux modifications de leur environnement.

Cette disposition est appuyée par le rapport final de l'atelier de Pointe-Noire « Erosion Côtière en Afrique Centrale » (UNESCO, octobre 2008).

¹ PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

² CUQ F., CAMPREDON P., 1997. Analyse spatiale de l'environnement côtier d'Afrique de l'Ouest. Iles et Littoraux Tropicaux. Actes des 7^{ème} Journées de Géographie Tropicale, Brest, 11-12-13 septembre 1997-pp.232-236



Figure 1 : Problématique de l'érosion côtière dans le golfe de Guinée (Queleennec, 1989, modifiée)

A l'échelle nationale, une estimation de la vitesse du recul de la côte septentrionale du Gabon a été faite (Mombé, 2000). Le résultat (fig.2) montre des disparités géographiques du phénomène de l'embouchure de l'Ogooné à l'estuaire du Muni. La vitesse de recul la plus élevée se situe sur la flèche Mandji et le phénomène touche particulièrement les côtes basses (sableuses) que celles à falaises (à grès).

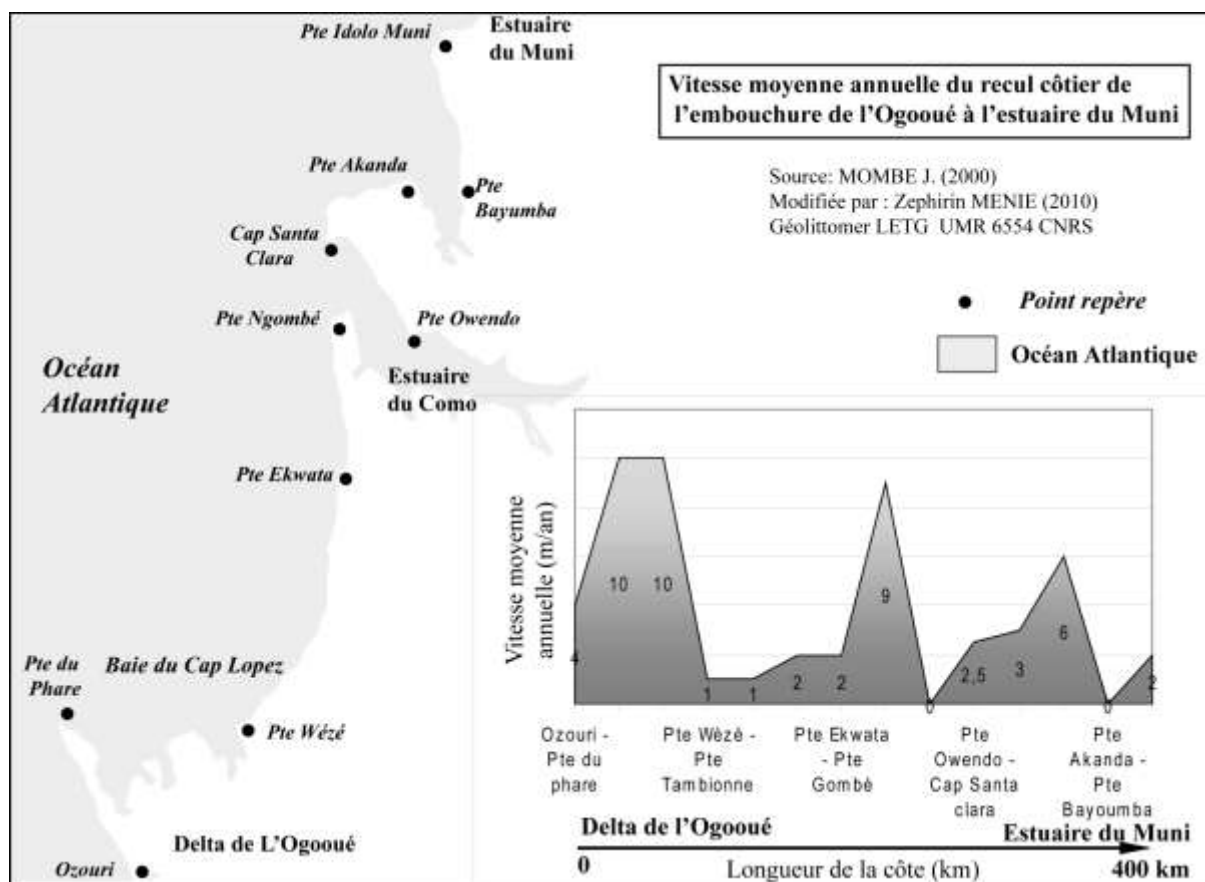


Figure 2 : Recul du trait de côte sur littoral septentrional du Gabon (modifié de Mombé, 2000)

Cette quantification suscite quelques questionnements et semble revêtir quelques imprécisions liées à l'échelle de mesure (1/200.000). Il convient tout de même de préciser l'intérêt scientifique de cette étude qui analyse les grandes tendances de la mobilité de la côte gabonaise et le risque que cela peut entraîner.

A l'échelle locale, l'impact du phénomène sur le milieu naturel et sur les installations anthropiques témoigne de la gravité du phénomène.

Quelques illustrations choisies au hasard en disent long sur la situation actuelle de la flèche Mandji (photo 1 et 2).

La photographie 1 datant de 1999 témoigne d'une érosion active au Sud du phare du Cap Lopez.



Photo 1 : Impact de l'érosion au Sud du Phare du Cap Lopez (Elf Gabon, 1999)

La photographie 2 met en scène l'instabilité de la pointe Odden justifiée par des nombreux glissements de la côte enregistrés depuis juillet 1971. Le tracé blanc représente la position du trait de côte en Mai 1970 (IGN, 1971).



Photo 2 : Glissement de la pointe Odden en juillet 1971 (Elf Gabon, 1971)

La connaissance de ce phénomène reste tout même sectorielle, car seules les zones à fort enjeux socio-économiques tels que le Cap Lopez, le site en chantier de la « zone franche » et le front de mer de la ville de Port-Gentil bénéficient d'un intérêt particulier de la part des pouvoirs publics.

L'hypothèse avancée par les experts du GIEC³ sur un ennoisement imminent des côtes basses avec une intensification de recul de celles-ci à la suite d'une élévation annoncée du niveau marin suscitent des inquiétudes pour les habitants de la flèche Mandji.

D'après Paskoff (2001) « *il reste que, en tout état de cause, l'accélération prévue de la vitesse d'élévation du niveau de la mer devrait accentuer l'érosion des plages là où elle se manifeste déjà et, éventuellement, la déclencher là où elle n'apparaît pas encore* ». Seules résisteront à l'érosion les plages suffisamment alimentées en sédiments pour contrecarrer les effets d'une élévation du niveau de la mer (Leatherman, 1990). Toutefois, en l'absence des données quantifiées relatives à cette élévation marine au niveau des côtes gabonaises, cette hypothèse demande à être vérifiée.

LA PROBLEMATIQUE

Le but de cette thèse est de comprendre l'évolution du trait de côte de la flèche Mandji et d'analyser le risque induit par cette dynamique à différentes échelles temporelles et spatiales. Cette problématique oblige à se conformer au triptyque « Passé-Présent-Avenir ». Pour atteindre cet objectif, quatre questions fondamentales ont orienté notre réflexion :

- **Comment s'est faite l'évolution du trait de côte au cours de l'Holocène ?**

Pour comprendre la dynamique actuelle du trait de côte, il est nécessaire de s'appuyer sur les expériences du passé. Cela revient à comprendre la formation et l'évolution de la flèche Mandji depuis l'Holocène.

- **Quelle est la mobilité actuelle ?**

La quantification du recul du trait de côte permet de préciser la vitesse du phénomène à toutes les échelles de mesure. Cette analyse diachronique aboutit à une cartographie de l'érosion côtière.

- **Quelles sont les facteurs à l'origine de ce phénomène ?**

Il est intéressant de s'appesantir sur les facteurs mis en cause dans la dynamique du linéaire côtier, à savoir : les forçages naturels et les actions anthropiques.

- **Quel est l'impact sur l'environnement et sur les communautés côtières ?**

L'appréhension de l'érosion se solde par une cartographie de l'aléa et des enjeux sur l'ensemble de la zone étudiée. Cette démarche vise à mettre en place une stratégie de lutte contre ce phénomène.

³ GIEC : groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

LE SECTEUR D'ÉTUDE

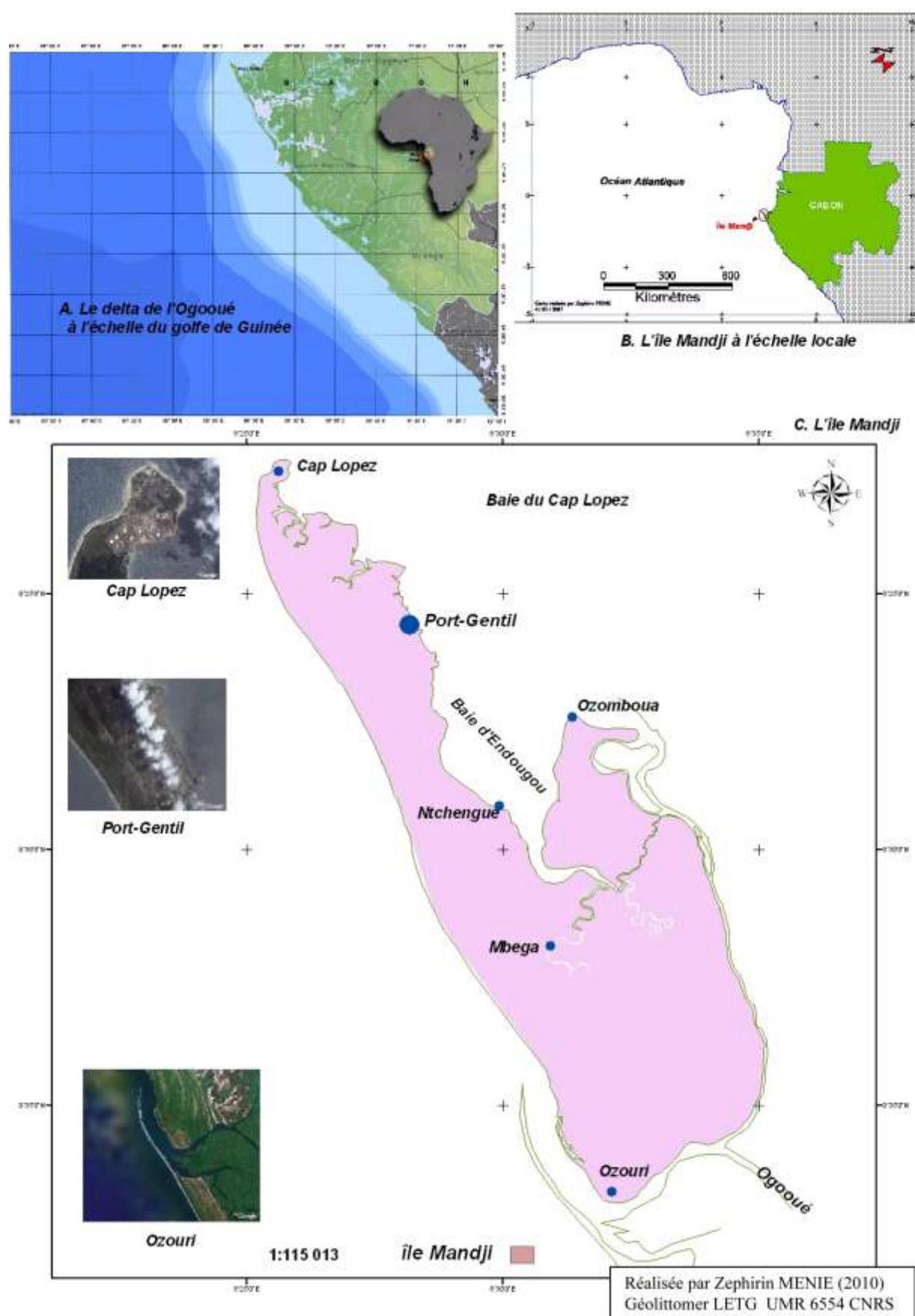


Figure 3 : Localisation géographique de la flèche Mandji

La flèche Mandji est située au Centre-Ouest de la côte atlantique gabonaise (fig.3). Elle fait partie d'un système deltaïque façonné à l'exutoire du fleuve *Ogooné*. Long de 50 km environ, elle mesure en moyenne 6 km de largeur, avec une superficie estimée à 450 km². Elle est entourée par l'océan Atlantique de l'embouchure d'*Ozouri* (au Sud-Ouest) jusqu'à la pointe Ozomboua (Nord-Est). Elle est circonscrite par le fleuve *Animba* à l'Est et au Sud par l'*Ogooné*.

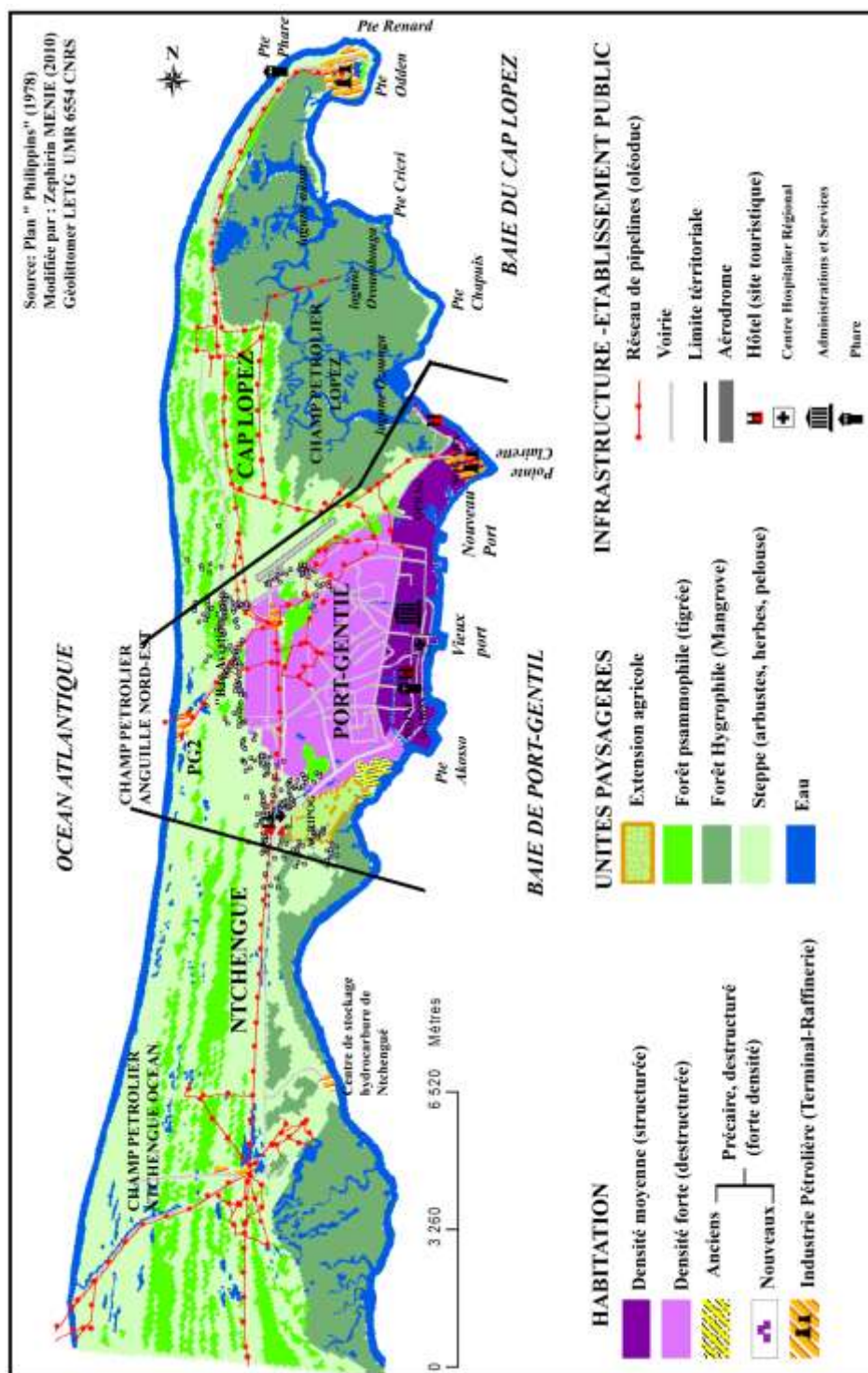


Figure 4 : Carte générale de l'occupation du sol de la zone d'étude

Dans le cadre de cette étude, on s'intéressera particulièrement à la partie de la flèche regroupant les secteurs : Cap Lopez, Port-Gentil, N'tchengué (fig.4). Elle couvre une superficie de 150 km² avec un contour de 60 km de côtes. Spatialement, elle se situe entre la latitude 1° Sud et 0°35 Sud et entre la longitude 8°40 Est et 8°60 Est.

APPROCHE SPATIO-TEMPORELLE

Pour répondre à ces interrogations, un travail d'analyse et de méthodologie a été mené sur les techniques de mesure et de traitement des données tout au long de cette thèse. Chacun des ces aspects sera repris en préambule de chaque chapitre. Cependant, la complexité d'une telle problématique suggère de prendre en compte les échelles spatio-temporelles impliquées dans l'évolution morphosédimentaire de la côte comme un emboîtement de sous-systèmes (approche systémique) (Levoy, 2000). Toute la difficulté des analyses sur le système littoral vient de la variété des forçages et de la diversité des éléments emboîtés les uns aux autres. En effet la dynamique sédimentaire côtière est contrôlée par des processus physiques, climatiques et anthropiques intervenant à des échelles temporelles et spatiales diverses (fig.5). 3 échelles spatiales et temporelles sont considérées pour l'étude de la dynamique sédimentaire du littoral de Mandji :

- Une échelle **saisonnnière** : elle concerne des périodes minimales allant de un jour à quelques mois. Elle est associée à une extension spatiale d'une plage. Elle intègre bien l'évolution d'un profil de plage, telle que celle de la plage du phare du Cap Lopez (cf. Chap. 3),
- Une échelle **décennale** : elle prend en compte les évolutions sur un pas de temps allant de l'année à une décennie. Le domaine spatial correspond à un littoral, allant du kilomètre à quelques dizaines de kilomètres. Elle est adaptée à l'évolution du trait de côte, ainsi que celle des profils de plage sur l'ensemble du littoral. Elle permet aussi d'analyser les différentes occupations du sol sur quelques dizaines d'années (cf. chap. 3-4),
- Une échelle **géologique** : elle est utilisée dans le cadre des évolutions sur un plus long terme s'étalant de plusieurs milliers à des millions d'années. Elle englobe des formes littorales allant de la taille d'une région à celle de la terre entière. Cette échelle est adaptée pour la reconstitution paléogéographique de la flèche depuis l'Holocène (cf. chap. 1).

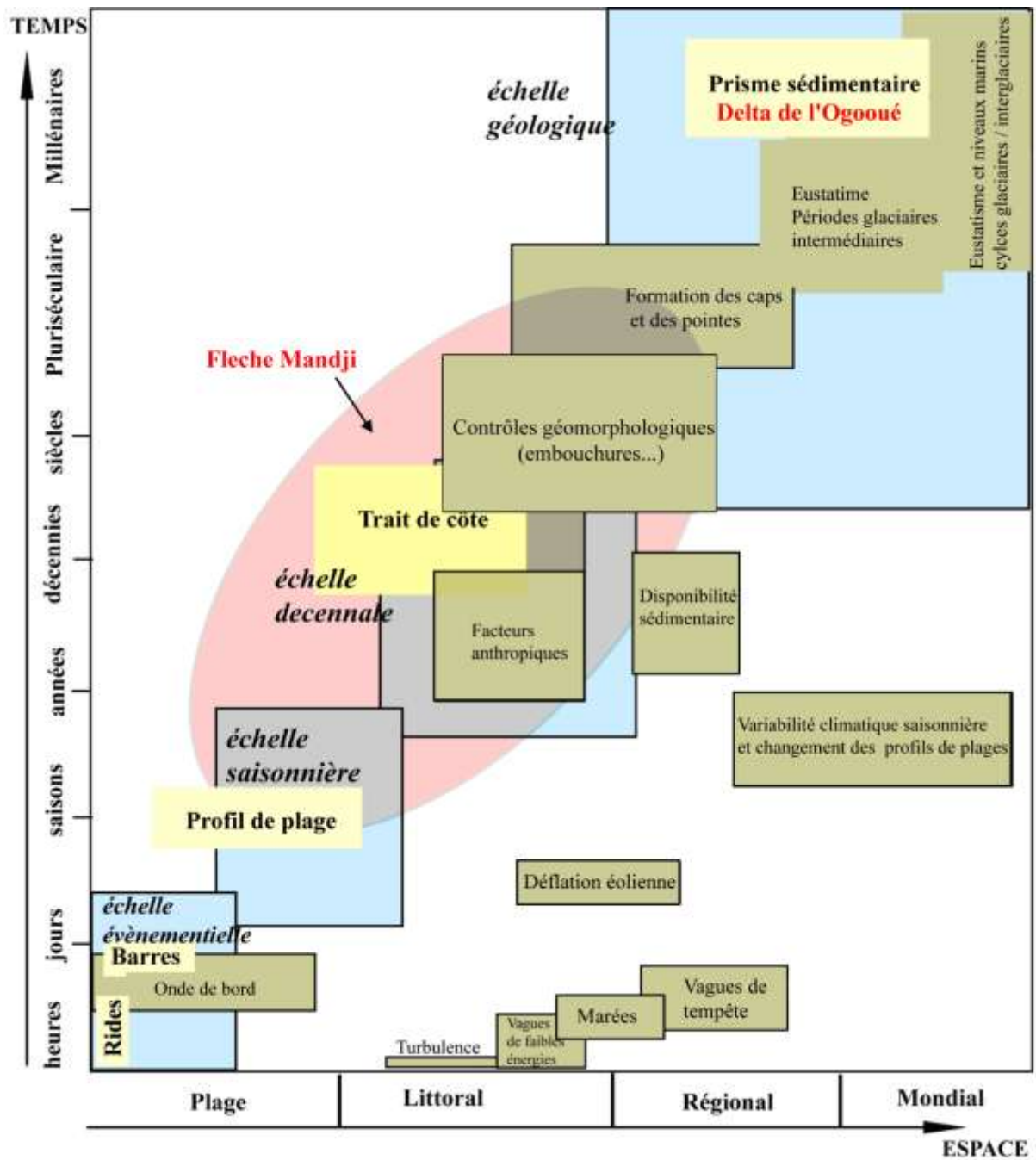


Figure 5 : Répartition spatio-temporelle des facteurs climatiques, hydrodynamiques, sédimentologiques et anthropiques impliqués dans la dynamique sédimentaire des littoraux (Levoy, 2000; modifié)

METHODOLOGIE

L'approche spatiotemporelle menée dans le cadre de cette thèse, intègre les évolutions sur un long terme et sur un court terme. Elle débouche sur une analyse des risques côtiers. Les données récoltées pour la circonstance sont structurées en trois bases de données (fig.6).

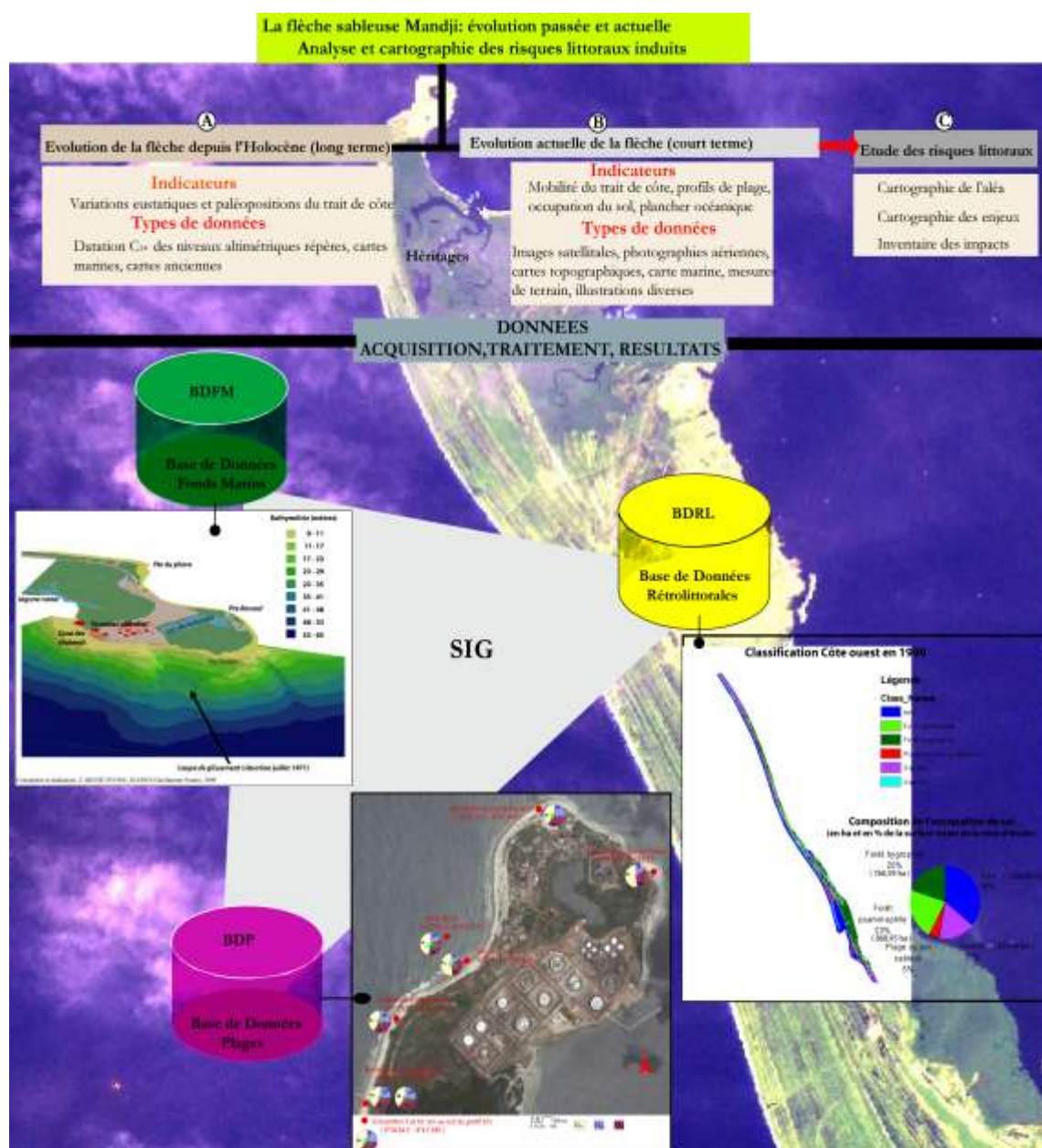


Figure 6: Système d'information géographique de la flèche Mandji

Sur la base d'un certain nombre d'indicateurs représentatifs des évolutions étudiées, le SIG⁴ permet d'une part, de fournir en sortie les informations sur la nature des forçages et leurs intensités, et d'autre part, de produire une cartographie des enjeux et des risques de la flèche.

LES BASES DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES

Le SIG de l'évolution de la flèche Mandji intègre des données provenant des images satellitales, des photographies aériennes, des cartes marines, des cartes topographiques, des cartes anciennes et des mesures de terrain. Ces données sont en mode vecteur ou raster. Les données vecteurs

⁴ SIG : Système d'Information Géographique

sont une représentation fidèle des objets géographiques réels modélisés par des primitives graphiques : les polygones, les points et les arcs. Les données rasters discrétisent régulièrement les objets géographiques réels et sont obtenues directement à partir des images satellitales ou indirectement par la numérisation des photographies aériennes. Elles se présentent sous la forme de matrices lignes/colonnes où le pixel représente l'unité de base de la matrice et la dote de son pouvoir de résolution spatiale (Denègre, 1996).

Trois compartiments géographiques font l'objet de la constitution d'une base de données (fig.6) : les fonds marins, la plage, l'arrière plage.

Les informations sont stockées dans ces bases de données de façon à pouvoir être utilisées suivant diverses modalités de requêtes attributaires et spatiales répondant à la problématique de la thèse. Le SIG intègre les bases de données suivantes :

- la base de données rétro-littorales (**BDRL**),
- la base de données plages émergées et zone intertidale (**BDP**)
- la base de données pré-littorales (**BDFM**)-depuis les petits fonds - zone infratidale-jusqu'aux grands fonds.

- Réalisation des bases de données

a) Les outils

Deux logiciels ont permis la mise en place et la fonctionnalité des trois bases de données : ArcGis 9.2 et Erdas Imagine 8.5.

La partie SIG a été gérée par le logiciel ArcGis 9.2. Les fonctions d'acquisition, d'archivage, d'analyse et d'affichage de l'information géographique ont été faites par les deux modules d'ArcGis (ArcMap et ArcCatalogue) permettant la gestion simultanée des données vecteurs et rasters. Le logiciel Erdas Imagine 8.5 a permis le traitement des images satellitales et les analyses de changements d'occupation entre 1990 et 2001.

b) Acquisition des données

Les fonctions d'acquisition des données sont de deux types : les fonctions de numérisation et les fonctions d'importation de données en provenance de systèmes non intégrés (photogrammétrie, traitement d'images de télédétection, fichiers existants).

Les données utilisées dans la confection des bases de données proviennent de cinq sources : la photogrammétrie (IGN⁵, INC⁶), des mesures directes sur chantier (cabinets d'études, TOTAL GABON), la télédétection (données en ligne sur le site GLCF : Université de Maryland &

⁵ IGN : Institut Géographique National

⁶ INC : Institut National de la Cartographie

NASA), les cartes existantes sur la zone d'étude (IGN, INC, TOTAL GABON), les données géoréférencées acquises lors des missions de terrain. L'intégration des données dans l'environnement de stockage nécessite des prétraitements.

c) Géoréférencement

Les cartes existantes et les orthophotographies aériennes ont été scannées, puis géoréférencées. Le référentiel utilisé dans le cadre de cette thèse est défini comme suit :

- Système de projection : UTM zone 32 Sud
- Datum : D_WGS_1984

Ainsi toutes les couches d'information géographique appartenant à ce référentiel se superposent les unes aux autres.

Pendant cette étape, des prétraitements supplémentaires sont faits sur les données de télédétection. Il s'agit entre autre des corrections radiométriques et atmosphériques.

d) Numérisation et encodage

Cette étape aboutit à un fichier de vecteur (géométrie + attribut) ou raster selon les diverses sources d'informations.

- Description des bases de données

La conception des bases de données de l'évolution de la flèche Mandji, consiste à réunir tous les documents nécessaires dans un **dictionnaire de données**. Ce dernier précise le nom de la couche d'informations géographiques, la source de données, l'information dérivée, la géométrie, la table attributaire et la date d'acquisition des données. Chaque couche d'information est associée à une table attributaire dans laquelle on définit le type et la dimension des données.

La description des bases de données se limite aux aspects suivants :

- Le dictionnaire des données
- La structure des tables attributaires associées aux couches d'informations géographiques
- Les propriétés des attributs

a) Base de données rétro-littorale

Le dictionnaire des données rétro-littorales est composé de 11 couches d'informations géographiques de sources et de dates d'acquisitions diverses (fig.7) :

Géologie

L'information primaire est extraite de la carte Métallogénique de la République Gabonaise (édition 2000). Elle regroupe les informations relatives à la nature des formations du bassin sédimentaire du Gabon.

Elle est modélisée géométriquement par les polygones auxquels sont associés les attributs lithologie, ensemble sédimentaire et l'âge ou période géologique de la formation.

Le champ « Lithologie » a pour modalités « Grès » ou « Calcaire » et il est structuré en "chaîne de caractères".

Le champ « Ensemble sédimentaire » est caractérisé par les modalités « vase » ou « sables » et est structuré en "chaînes de caractères".

Le champ « Age » a pour modalité la valeur de la datation en BP⁷, exemple : 10 000 BP et sa structure est "chaîne de caractères".

Sol

La couche est extraite de la carte de ressources en sols du Gabon établis par l'ORSTOM (1981). L'information dérivée concerne la typologie des sols de la flèche Mandji. Elle est modélisée géométriquement par les polygones associés à une table attributaire renseigné par deux champs : « Hydromorphie » et « Nature du sol ». Les modalités d'hydromorphie sont de type quantitatif (en %). Les modalités du champ « Nature du sol » sont : « ferralitique » ou « tourbeux » ou « podzols », leur structure est de type "chaîne de caractères".

Topographie

La couche « Topographie » décrit l'altitude de la surface de la flèche Mandji. Les valeurs de cette couche sont dérivées du MNT⁸ de la mission SRTM⁹ et des cartes topographiques de l'Institut Géographique National. Après extraction des isohypses, nous les renseignons par un fichier « altimétrie », dont les modalités sont structurées en "entiers" correspondant à leurs positions par rapport au niveau de la mer.

⁷ BP: on emploie ce type de dates pour donner les datations au C14 avant calibration. Le présent correspond à 1950.

⁸ MNT: Modèle Numérique de Terrain

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission. Données matriciels fournies par la NASA. Elles ont été recueillies en février 2000 par la navette spatiale Endeavour (STS-99).

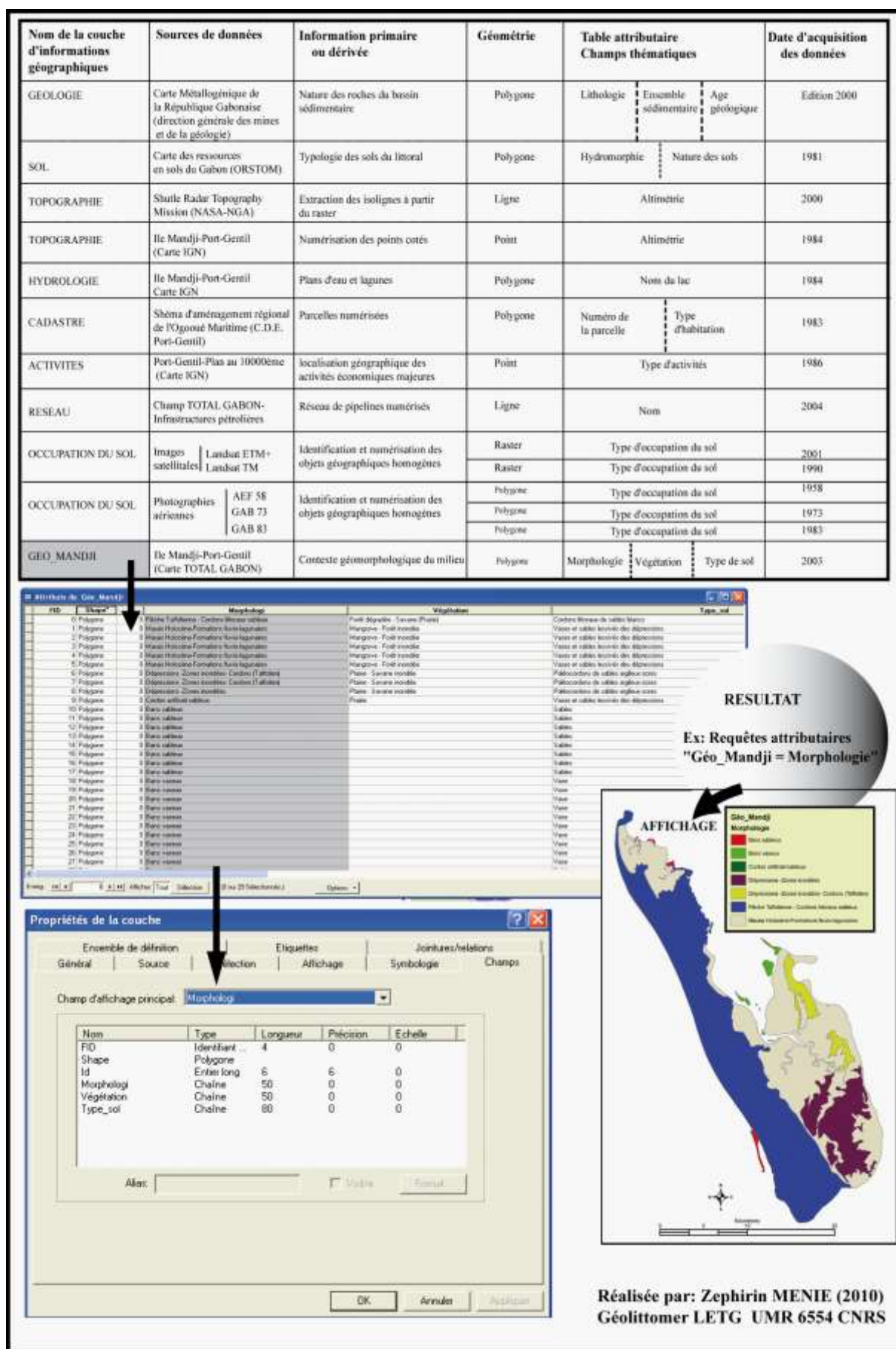


Figure 7 : Base de données rétro-littorales

Hydrologie

L'information élémentaire relative à l'hydrologie de la flèche Mandji est extraite de cartes IGN de Port-Gentil et du Cap Lopez. Elle se limite à la présentation des plans d'eau (lagons, lacs et lagunes) et est modélisée géométriquement par les polygones. Ces primitives graphiques sont associées à un attribut « Nom du lac », dont la structure est une "chaîne de caractères".

Cadastre :

La couche d'information « Cadastre » est extraite du Schéma d'Aménagement Régional de l'Ogooué Maritime, établi par la mission dite des « philippins » de 1978. Elle regroupe le plan cadastral et le plan d'occupation du sol de la ville de Port-Gentil. L'information géographique dérivée de ces documents est le parcellaire numérisé des quartiers situés en bordure de mer. Ce parcellaire est modélisé géométriquement par les polygones décrits par une table attributaire renseignée par deux champs : « Numéro parcelle » et « type d'habitation ».

Le champ « type d'habitation » a pour attribut « Moderne », « Traditionnel » ou « colonial » et leur structure est en "chaîne de caractères".

Activités :

La couche « Activités » renseigne sur la localisation géographique des unités de production industrielle majeures réparties le long de la baie de Port-Gentil. Les « Activités » sont modélisées géométriquement par des points auxquels sont associées une table attributaire composée d'un champ unique « type d'activités ». Les modalités sont « activités industrielles », « champs d'extraction du pétrole », « ports » ou « usines ». Les enregistrements des attributs sont de type « chaîne de caractères »

Réseaux :

La couche « Réseaux » englobe l'information relative aux pipelines qui traversent la flèche Mandji. L'information géographique qui en découle est le réseau numérisé par les lignes auxquelles sont associées à une table attributaire à un champ unique dénommé « Nom ». Les modalités du champ sont structurées en "chaîne de caractères", exemple : PG2, NT7.

Occupation du sol

Elle concerne deux couches d'informations géographiques extraites de différentes sources de données (Images satellitales, orthophotographies). L'Occupation du sol est représentée géométriquement par une image dont l'unité principale est le pixel. Les attributs renseignent sur

la classe d'occupation du sol, exemple : plage, eau, savane, forêt. Les enregistrements des entités géographiques sont structurés en "chaînes de caractères".

Géo_MANDJI

Elle détient l'information géographique relative au contexte géomorphologique de la flèche Mandji. La couche « Géo_MANDJI » est modélisée géométriquement par les polygones auxquels est associée une table attributaire composée de trois champs distincts (fig.7) : (1) Morphologie, (2) Végétation, (3) Type de sol.

(1) les modalités sont : Flèche Taffolienne-cordons sableux, Marais Holocène-formation fluviolagunaires, dépressions-zones inondées-cordon (Taffolienne), dépression zones inondées, banc sableux, banc vaseux, cordon artificiel sableux.

(2) les modalités sont : forêt dégradée-savane (prairie), mangrove-forêt inondée, plaine-savane inondée, prairie.

(3) les attributs sont : cordons littoraux de sables blancs, vases et sables lessivés, paléocordons de sables argileux ocre, vase et sables lessivés des dépressions, sables, vase.

Les enregistrements des champs sont structurés en "chaîne de caractères" (fig.7).

La base de données marine ou pré-littorale (BDFM)

Elle gère l'information relative à l'évolution des fonds marins des environs immédiats de la flèche Mandji depuis l'Holocène. La BDFM permet d'une part, de réaliser la cartographie des paléopositions du trait de côte pendant le quaternaire récent et d'autre part, d'analyser les évolutions récentes des petits fonds marins.

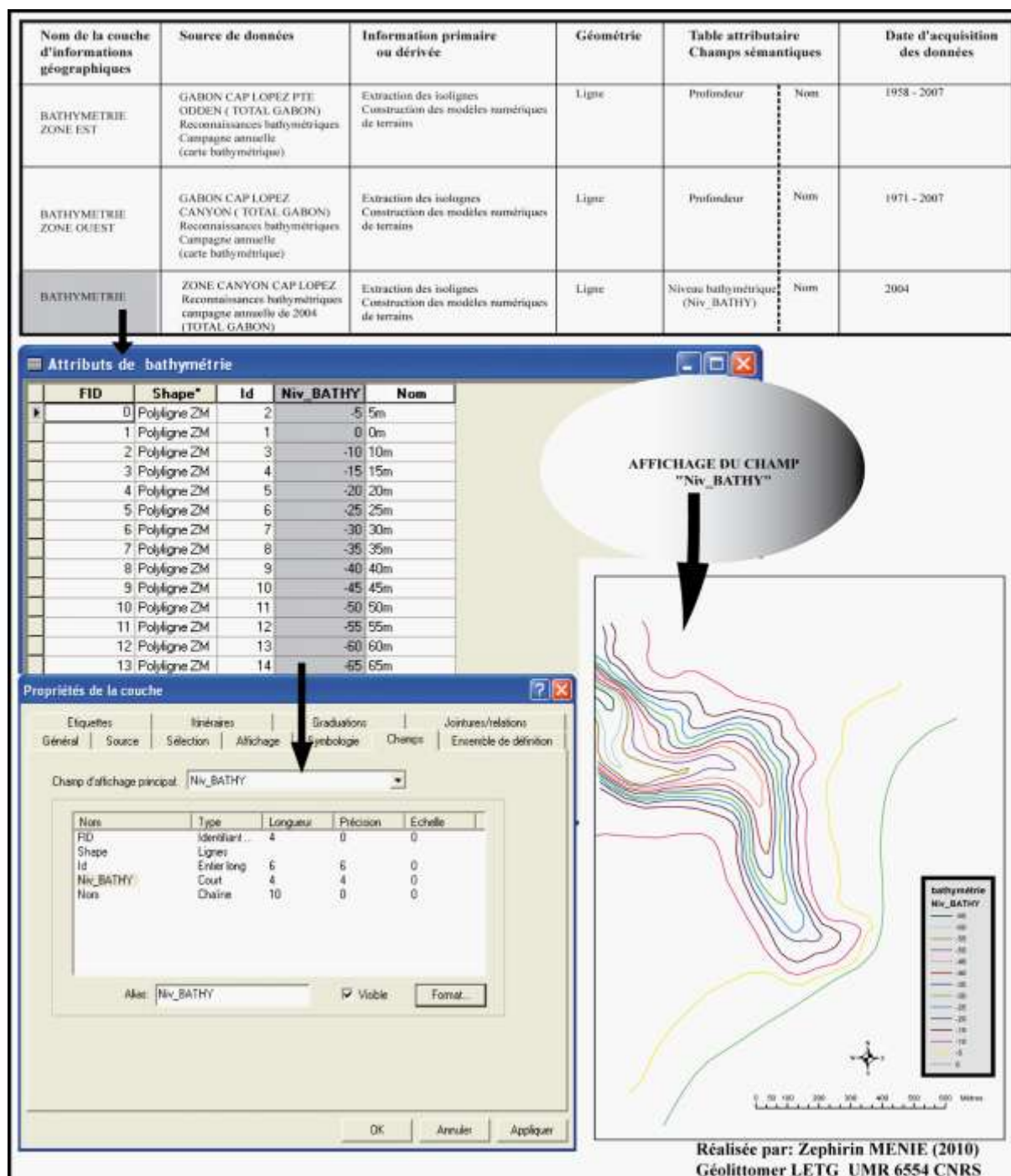
La figure 8 met en relief sa structure : un dictionnaire de données, une illustration de la table attributaire de la couche d'information « Bathymétrie », la propriété du champ « Niv_BATHY » (signification littérale de la profondeur).

Le dictionnaire de données est composé de trois couches d'informations géographiques de la bathymétrie des secteurs Ouest et Est du Cap Lopez.

Les données bathymétriques proviennent des levés effectués par les sociétés pétrolières (SPAFE, ELF GABON, TOTAL GABON) entre 1958 et 2007. La structuration des tables attributaires étant quasi-identique pour ces trois couches, on prend pour exemple la couche « Bathymétrie » (fig.8). Les informations figurant sur cette couche proviennent de la campagne annuelle de levés bathymétriques de 2004 au niveau du canyon. On procède à l'extraction des isolignes auxquelles est associée une table attributaire composée de deux champs : (1) « Profondeur » et (2) « Nom ».

(1) les attributs sont structurés en "entier court" : « 0, -5, -10.....-65 »

(2) les modalités sont organisées en chaîne de caractères, exemple : 0 m ou 5 m,...65 m.



b) La base de données plages (BDP)

Elle traite de l'information géographique relative à l'évolution du trait de côte et des plages sableuses. L'archivage des données est fait dans un dictionnaire structuré en 9 couches d'informations (fig. 9) :

Trait de côte

Trois couches distinctes hébergent l'information relative au « TRAIT DE COTE GLOBAL » et « TRAIT DE COTE -ZOOM SUR LE CAP LOPEZ ». Les données proviennent de 4 sources différentes :

- (1) images satellitales (landsat ETM+ (2001), TM (1990))
- (2) orthophotographies IGN (1958, 1973, 1983)
- (3) cartes topographies IGN (1958, 2007)
- (4) Levés topographiques de la position de la laisse de haute mer [1974-2007]

L'information primaire extraite de ces diverses sources est le trait de côte modélisé géométriquement par une ligne. Cette dernière est associée à une table attributaire ayant un champ unique « Nom du trait » et dont la modalité est organisée en "chaîne de caractères", exemple : Trait 2001.

Plages

On dénombre trois couches d'informations géographiques distinctes nommées « PLAGES » hébergeant chacune des données relatives à l'évolution des plages. Ces sources de données mettent à disposition les informations sur la surface des plages (1), la granulométrie des sables (2) et permet de définir les types de plages (3). Chacune des couches d'information est associée à une table attributaire comportant respectivement les champs suivants : « Aire » (1), « Diamètre » (2), « Type de plage » (3).

La couche (1) est modélisée par le polygone décrit par le champ « Aire » ou « Chape_aréa » (fig.9) dont la modalité est structurée en "réel double".

La couche (2) est modélisée par le point matérialisant un lieu précis du prélèvement d'un échantillon de sables. Elle est associée à un champ « Diamètre des grains » dont les modalités correspondent à la fraction granulométrique des échantillons exprimée en %.

La couche (3) est modélisée géométriquement par le point et la table attributaire associée renseigne sur le type de plage déduite du calcul des paramètres descriptifs de la morphodynamique des plages. (Paramètre de Sunamura et le marnage relatif). Les modalités de ce champ sont des chaînes de caractères : « Réflexive » ou « Dissipative » ou « Intermédiaire ».

Bilan 1962-2001

Elle concerne l'information relative à la cinématique du trait de côte entre 1962 et 2001. La couche d'information est modélisée géométriquement par les polygones auxquels est associée une table attributaire composée de 9 champs (fig.9).

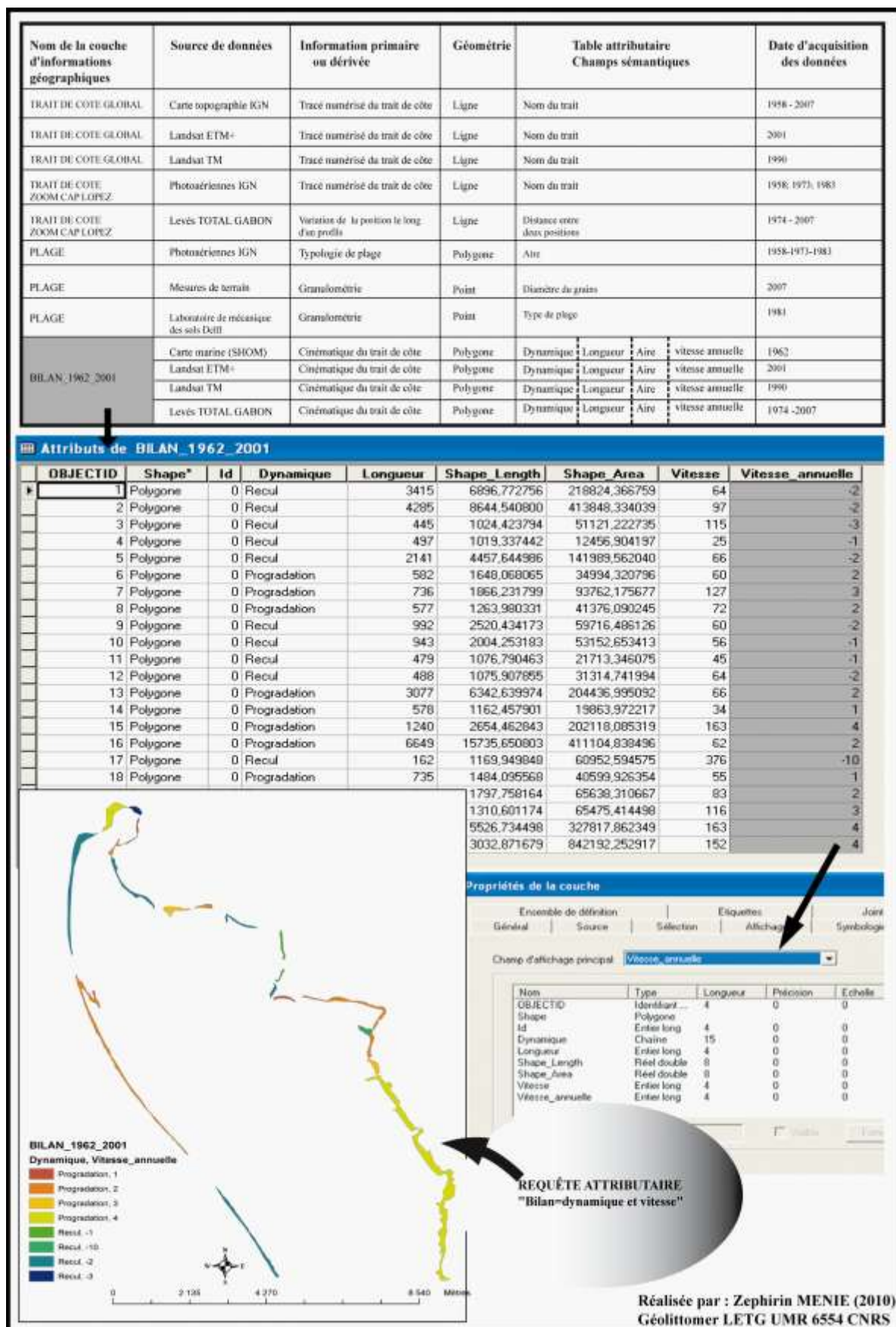


Figure 9 : Base de données plages

- Les fonctions d'analyse et de traitements sur les bases de données

a) Modèle Conceptuel de Données (MCD)

Nous n'avons toutefois pas procédé à la constitution d'un Modèle Conceptuel de Données plus formalisé dédié « risque » car les besoins exprimés par cette thèse ne le justifiaient pas vraiment. Toutefois, une réflexion est en cours à ce propos en relation avec les autorités locales afin de lancer un véritable observatoire pérenne des risques de la flèche Mandji, nécessitant un Modèle Conceptuel de Données plus formalisé (au sein d'une Géodatabase sous ArcGis 9.2).

L'exploitation des bases de données dans le but de produire l'information nécessaire au traitement de notre problématique s'est faite par un questionnement basé sur les attributs des objets, sur leurs relations spatiales : (1) *les requêtes attributaires* (portées sur les attributs des objets), (2) *les requêtes spatiales* (axées sur la topologie des objets).

(1) Les requêtes attributaires sont réalisées soit par sélection par attributs (Chap.1 fig.18), soit par sélection d'entités en fonction d'un ou de plusieurs attributs en s'appuyant sur divers opérateurs logiques.

Les critères de recherche des attributs sont définis soit par syntaxe simple, soit via des requêtes SQL¹⁰

ARTICULATION DE LA THESE

L'impératif de la prise en compte des échelles spatio-temporelles pour l'analyse de la dynamique du trait de côte et l'érosion induite, nous amène à structurer cette thèse en cinq chapitres :

Le premier chapitre présente dans un premier temps un état de lieu du milieu d'étude en insistant particulièrement sur son aspect physique. Il retrace dans un second temps, les grandes étapes de la morphogénèse et de l'évolution de la flèche Mandji au cours de l'Holocène en rapport avec les variations eustatiques. L'étude des cartes anciennes du delta de l'*Ogooué* a permis une reconstitution de la flèche pendant la période récente de son histoire.

Le deuxième chapitre consiste en une analyse des facteurs mis en cause dans la dynamique du trait de côte de la flèche littorale. Il établit le lien entre les forçages (naturels et anthropiques) et la mobilité actuelle du rivage. Les facteurs naturels englobent les agents météo-marins, l'architecture des fonds marins et le transit littoral. Les facteurs anthropiques se résument à toute forme de

¹⁰ SQL : Structured Query Language

modification humaine du littoral, pouvant dans une certaine mesure contribuer à l'altération du rivage ou à l'amplification du recul de celui-ci.

Le troisième chapitre est consacré à la quantification et la cartographie de la dynamique du trait de côte. A partir d'un modèle de calcul de vitesses de recul côtier appliqué à l'ensemble du littoral de Mandji, on peut voir les grandes tendances de la mobilité du rivage sur le pas de temps allant de 1962 à 2001.

Le souci d'amélioration des résultats a conduit à un zoom sur le secteur du Cap Lopez. Un suivi de la dynamique du linéaire côtier et des fonds marins a été effectué. Il couvre la période allant de 1974 à 2007

Le quatrième chapitre établit le rapport entre le recul du trait de côte et l'évolution de l'occupation du sol entre 1990 et 2001. Il met en évidence le lien entre la morphodynamique de la flèche et les changements de l'occupation du sol.

Dans le cinquième chapitre nous nous interrogeons sur l'impact environnemental et socio-économique du recul de la côte. En nous appuyant sur une cartographie de l'aléa et des enjeux, nous proposons par la suite des pistes de remédiations.

Chapitre 1 : CONTEXTE ACTUEL ET ÉVOLUTION DE LA FLÈCHE LITTORALE DEPUIS LA TRANSGRESSION FLANDRIENNE

Chapitre 1 : CONTEXTE ACTUEL ET ÉVOLUTION DE LA FLÈCHE LITTORALE DEPUIS LA TRANSGRESSION FLANDRIENNE	26
INTRODUCTION.....	27
1.1-DE L’HOLOCENE AU CONTEXTE OCEANIQUE ACTUEL.....	28
1.1.1-Analyse diachronique des évolutions Holocènes	28
1.1.2-Evolution pluriséculaire de la flèche Mandji.....	36
1.1.3-Reconstitution paléogéographique de la flèche	39
1.1.4-Conclusion partielle	42
1.2 –PRÉSENTATION PHYSIQUE ET DEGRÉ D’ANTHROPISATION	43
1.2.1-La flèche Mandji	43
1.2.2- Urbanisation et artificialisation du trait de côte	61

INTRODUCTION

Ce premier chapitre a pour objectif de répondre à deux questions fondamentales de notre problématique : Quelles ont été les étapes marquantes de sa morphogénèse ? Quel est l'état physique actuel de la flèche Mandji ?

Pour satisfaire cette double exigence, nous avons structuré cette partie de la thèse en deux sous-chapitres:

▪ DE L'HOLOCENE AU CONTEXTE OCEANIQUE ACTUEL

Il est question ici de faire le point du façonnement de la flèche littorale depuis la transgression Flandrienne. Dans un premier temps, il est mis en évidence le rôle primordial qu'ont joué les oscillations eustatiques dans le colmatage du delta de l'*Ogooué* dans son ensemble et plus particulièrement leur implication dans la morphogénèse de la flèche sableuse. Dans un second temps, nous procéderons à une étude des cartes anciennes de la zone d'étude. Enfin, sur la base des données existantes, on propose une reconstitution paléogéographique de l'évolution de la flèche littorale.

▪ LE CONTEXTE PHYSIQUE ET ACTIONS ANTHROPIQUES

Le sous chapitre est consacré à la présentation des aspects géomorphologiques et humains ayant une implication directe ou indirecte sur la dynamique actuelle du trait de côte de l'île Mandji.

1.1-DE L'HOLOCENE AU CONTEXTE OCEANIQUE ACTUEL

Les changements climatiques qui ont marqué le quaternaire récent ont laissé leurs empreintes sur la disposition actuelle du trait de côte de la flèche Mandji qu'il convient dans une certaine mesure de resituer dans le contexte de leur mise en place. Cette approche permet d'une part de comprendre les dynamiques actuelles et prédire les évolutions à venir. Cet aspect de l'étude, nous amène à utiliser trois sources de données :

- Mesures de terrains des paléopositions de la côte faites par le CICIBA¹¹,
- Cartes marines récentes et photographies aériennes (Analyse spatiale),
- Cartes anciennes et plan levés (Approche descriptive et comparative).

1.1.1-Analyse diachronique des évolutions Holocènes

a) Données

Les données chiffrées, issues des recherches faites par le CICIBA sur les paléo-environnements du littoral du Gabon (Clist, 1995), ont permis le positionnement des paléo-rivages sur les cartes marines depuis 120 000 BP.

La carte bathymétrique (SHOM, 1973), préalablement géoréférencée, a servi de repère pour la cartographie des paléo-environnements. Sur cette carte, le trait de côte est matérialisé par la limite terre/mer.

L'imprécision planimétrique des cartes anciennes ne permet pas une approche quantitative de l'information diachronique. Le calage quasi impossible des documents anciens avec les récents restreint l'analyse à une description simple des évolutions. Les cartes utilisées dans le cadre de cette étude proviennent de la bibliothèque de TOTAL GABON. Elles ont été obtenues lors de notre mission de terrain en 2007, à la Direction des Activités Pétrolières (DAP). Elles couvrent la période allant de 1660 à 1957.

Une photographie aérienne de 1958 et une image Global landcover de 2006, ont été utilisées pour la circonstance. L'indicateur morphologique et surfacique permet de mettre en évidence les évolutions récentes de la flèche. La méthode diachronique, basée sur la comparaison des deux images, permet d'apprécier la croissance de la flèche pendant les 50 dernières années.

¹¹ CICIBA : Centre International de Civilisation Bantou

b) Méthode et traitement des données

L'information relative à l'évolution de la flèche Mandji au cours de l'Holocène est intégrée dans 3 bases de données (fig.10) : 2 bases d'informations géographiques nommées respectivement « **DYNAMIQUE HOLOCENE** » et « **DYNAMIQUE 1958-2009** » (i) ; Une base de données descriptive dite « **DYNAMIQUE 1660-1946** » (ii).

(i) Le traitement concerne les opérations d'intégration des données analogiques et la représentation cartographique de l'information géographique. Il est effectué par le logiciel ArcGis 9.2 à travers les applications ArcMap et ArcCatalogue. La carte bathymétrique du SHOM¹² (1973) de la flèche Mandji a servi de base pour le géoréférencement des données et pour la structuration de la base de données « **DYNAMIQUE HOLOCENE** » et prenant comme référentiel les minutes bathymétriques du SHOM. Leur intégration répond à l'intérêt de disposer d'un état antérieur des paléo-positions du trait de côte depuis 16 000 BP et d'apprécier les évolutions. Deux couches (objets linéaires) sont mises en forme sur les thèmes : positions du trait de côte à une période précise - les paléo-environnements respectifs.

L'ensemble de ces données, anciennes et récentes, fait l'objet d'une modélisation morpho-bathymétrique. Les traitements sont réalisés sur les primitives linéaires correspondant à des niveaux altimétriques, dont le but est de construire les modèles numériques de terrain. Une méthode d'interpolation (TIN¹³) est donc appliquée pour la circonstance. Le principe de cette méthode est de créer une couverture de triangle pour le calcul des distances entre toutes les courbes de niveaux (Gourmelon F, Augris C; De La Torre Y, 2002).

Le résultat final est une représentation en deux dimensions des isobathes à laquelle on associe la position du trait de côte issu des datations au C14 des paléo-environnement Holocène faite par Clist B. en 1995.

(ii) Elle est composée de photographies aériennes (50 dernières années) et de cartes anciennes couvrant la période du 17^{ème} jusqu'à la moitié du 20^{ème} siècle. Le traitement de ces données se limite à une description basée sur une comparaison diachronique des documents les uns après les autres. Il est ainsi décelé les similitudes et des différences aidant ainsi à la compréhension des changements majeurs qui ont contribué à la mise en place des formes littorales actuelles.

¹² SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

¹³ TIN : Triangulated Irregular Network

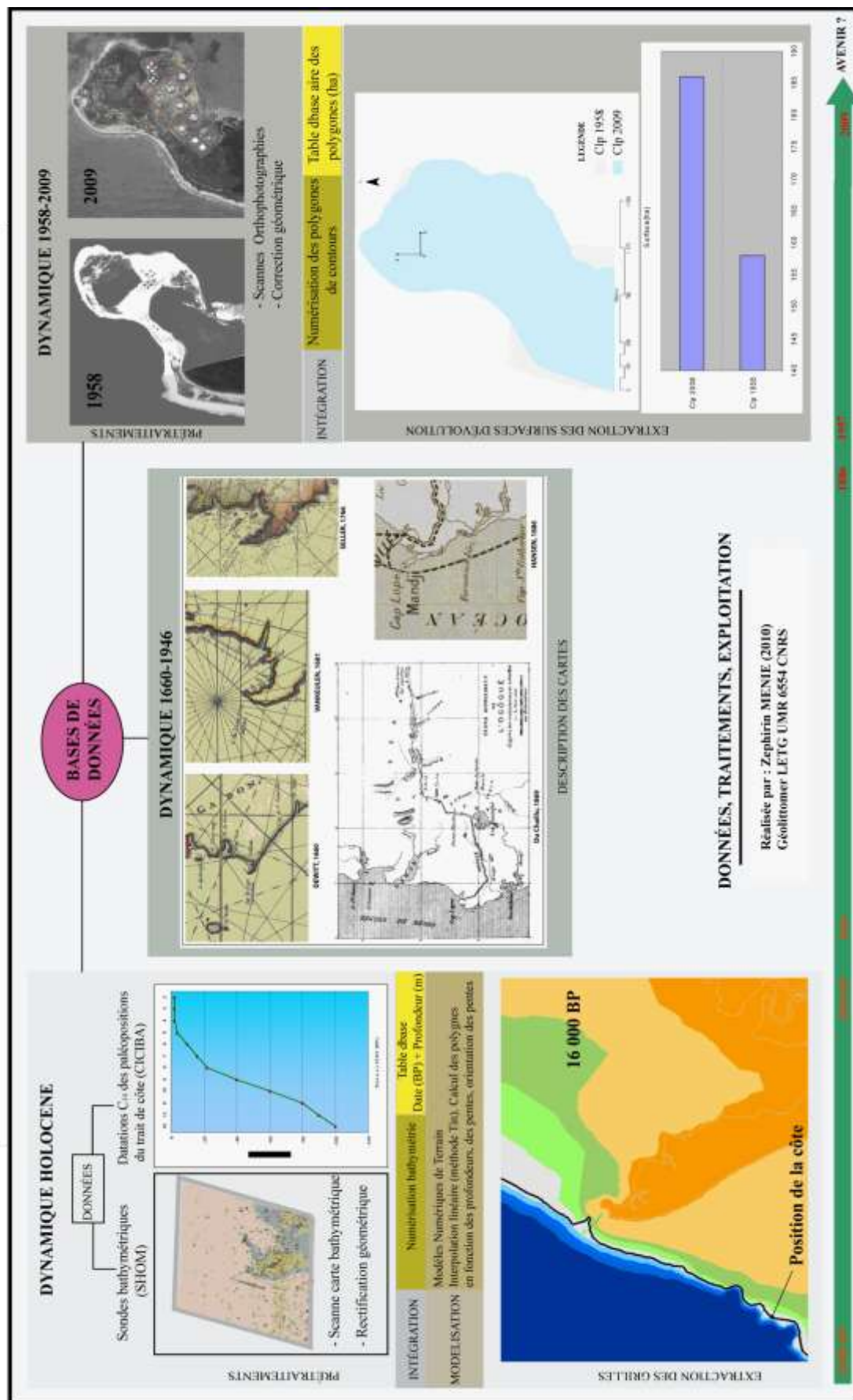


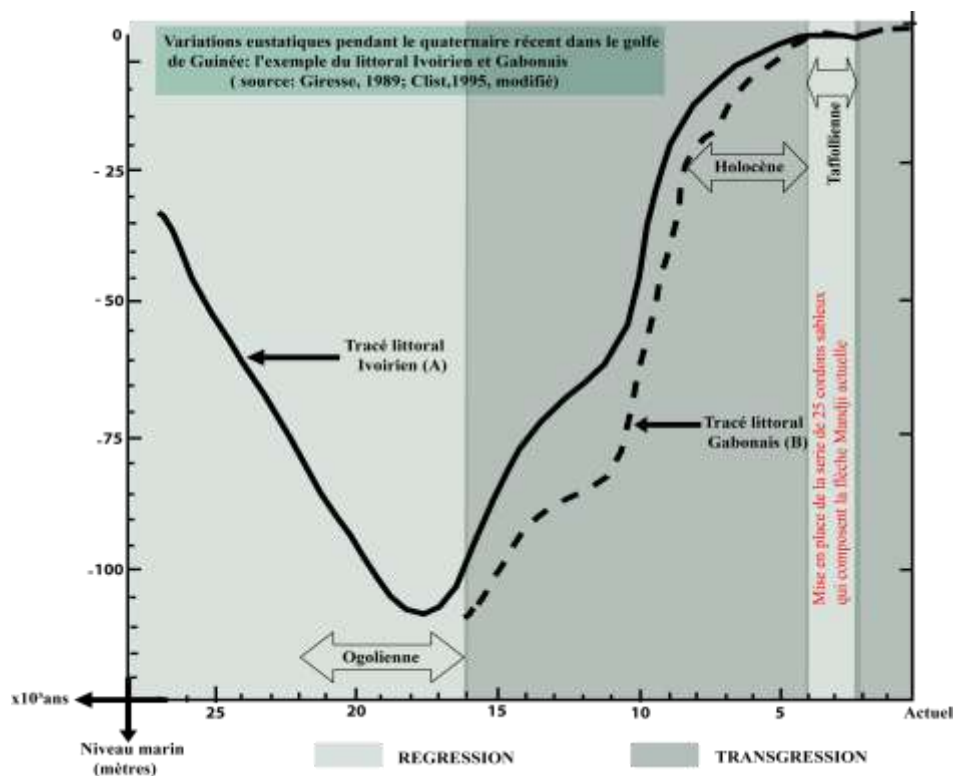
Figure 10

Schéma structural de l'analyse de l'évolution du trait de côte depuis l'Holocène.

c) Données bibliographiques

Le niveau de mer a fluctué plusieurs fois pendant le quaternaire supérieur (Graph.1). Pendant les phases de glaciation correspondant localement aux phases sèches de faible pluviométrie, on assiste à la baisse du niveau de la mer appelée *Régression*. Le retour de la phase humide, marquée par une élévation des températures, se solde par la fonte des glaciers dans les pôles et une reprise de la pluie en zone équatoriale ; il s'ensuit alors une élévation du niveau de la mer ou *Transgression*. Ces variations eustatiques sont à l'origine d'un ensemble de formes sédimentaires rencontrées sur la côte gabonaise. Il s'agit entre autres de :

- l'estuaire du *Como*,
- le delta de l'*Ogooné*,
- la série de canyon au large de la flèche Mandji,
- le cordon littoral qui s'étend du littoral congolais jusqu'à la région dite des « cirques » couvrant ainsi des vastes plaines alluviales marécageuses.



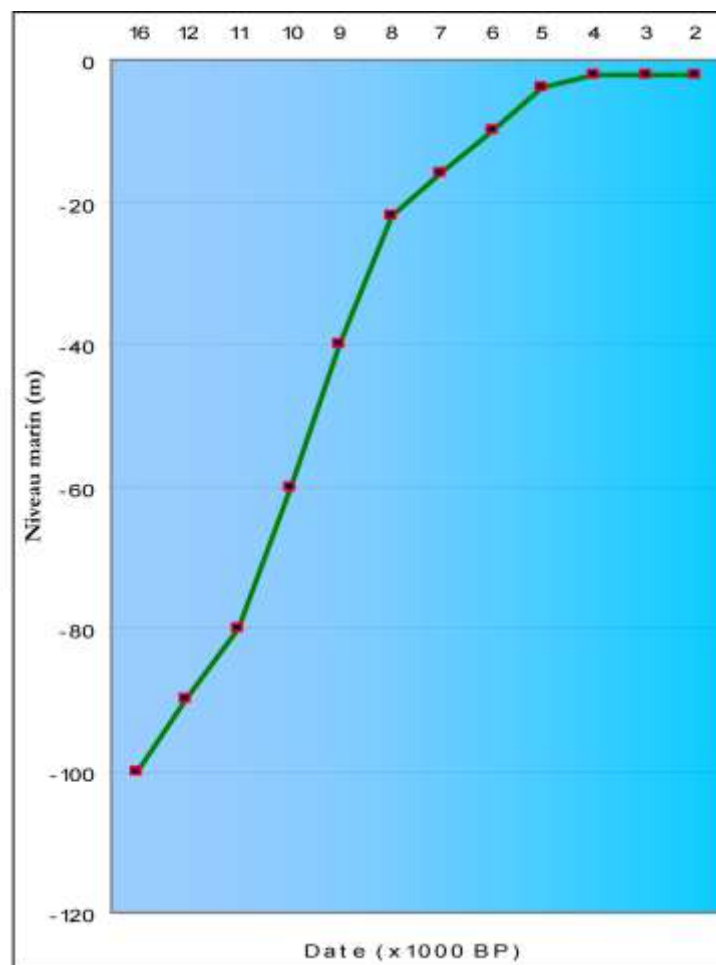
Graphique 1 : Variations eustatiques sur le littoral gabonais depuis 15 000 BP (tracé B) et sur le littoral ivoirien depuis 25 000 BP (tracé A). (D'après Giresse, 1989 ; Clist, 1995 ; modifiée)

Les données actuelles traitant des positions occupées par le trait de côte pendant le quaternaire récent, au niveau du Gabon, ne vont pas au-delà des - 15 000 BP. La période précédente, c'est-à-dire entre 40 000 et 20 000 BP (transgression Inchirienne) est déduite des datations effectuées en

Afrique de l'Ouest pour la Côte d'Ivoire. Lebigre (1983), puis Bernard Clist (1995) produisent pour la première fois le tracé sur le littoral gabonais (Graph.2).

La comparaison des deux courbes, en premier abord montre une similarité au cours des 15 000 BP. En second abord, on observe la succession d'une phase de régression suivie d'une phase de transgression.

On dénombre quatre grandes phases de fluctuation du niveau de l'océan Atlantique à l'échelle du Gabon (Graph.2). La chronologie est la suivante :



Graphique 2 : Variation du niveau marin sur le littoral gabonais depuis 15 000 BP
(Giresse, 1989 ; Clist, 1995, modifiée)

-*La transgression Inchirienne* (de 40 000 à 30 000 BP). La position du rivage était proche de l'actuel trait de côte. La mer se situait entre -35 m et -47 m par rapport à la position actuelle. C'est un épisode d'aridité correspondant à un optimum climatique qui perdura jusqu'à 30 000 BP (Clist, 1995).

- *La régression Ogolienne* (de 22.000 à 16.000 BP). Le niveau de l'océan Atlantique est descendu à moins de 120 m par rapport à la position actuelle. La preuve matérielle de cet épisode de baisse

du niveau marin est le canyon du Cap Lopez, ce qui a permis de dégager d'immenses surfaces actuellement sous la mer. L'estuaire du Gabon à cette époque n'était qu'une vaste vallée traversée par un cours d'eau ancêtre du *Como* actuel (Lebigre, 1983).

C'est la période la plus aride vécue sur le bassin côtier gabonais.

- *La transgression Nouakébotienne ou Holocène* (de 8.000 à 5.000 BP). Le niveau d'eau remonte jusqu'à atteindre le niveau actuel. Le niveau actuel de la mer est atteint vers 5 000 BP, cette élévation correspond à une vitesse moyenne de 1 cm/an en hauteur. Cette remontée est sans doute la cause d'une reprise de précipitation, associée à une fonte des glaces vers les pôles (Clist, 1995).

La période est marquée par une forte sédimentation fluviale et marine. Les rias se colmatent et deviennent de vastes marais littoraux.

- *La régression Taffolienne* (de 3 000 BP à l'actuel) : on observe une légère baisse du niveau marin de quelques centimètres par rapport au niveau actuel. Cette régression est à l'origine de la formation des cordons parallèles du littoral gabonais. L'exemple patent est la série de cordons littoraux constitutifs de la flèche Mandji (Lebigre, 1983).

Cette régression n'a jamais excédé le niveau zéro actuel. La sédimentation vaseuse subactuelle recouvrant les sédiments holocènes résulte d'un apport en alluvions par les fleuves côtiers (*Ogooué, Nyanga, Kouilou et Zaïre*).

Ceci laisse penser que la croissance de la flèche Mandji s'est amorcée lors de cette légère régression, période pendant laquelle les fleuves littoraux charriaient de grandes quantités de sédiments.

d) Résultats et analyses

Le réchauffement climatique qui marque le début de l'Holocène se traduit par une élévation progressive du niveau marin qui atteint vers 6 000 BP une position voisine de l'actuelle (Giresse, 1989). Ce mouvement transgressif a entraîné une migration importante de la ligne de rivage vers l'intérieur des terres (fig.12).

En reportant les différentes positions de la côte sur une carte marine du bassin gabonais, on constate que le trait de côte vers 16 000 BP était à 55 km plein Ouest par rapport à Cocobeach, à 60 km plein Ouest par rapport à Libreville, à 16 km plein Ouest par rapport à Port-Gentil (fig.11), et enfin, à 78 km plein Ouest par rapport à la ville de Mayumba.

À noter que les îles Elobey ont été séparées du continent vers 5 000 BP (niveaux des 4 m) et que l'île de Corisco était encore rattachée au continent près du Cap Estérias à peu près à la même époque (niveau 8 m).

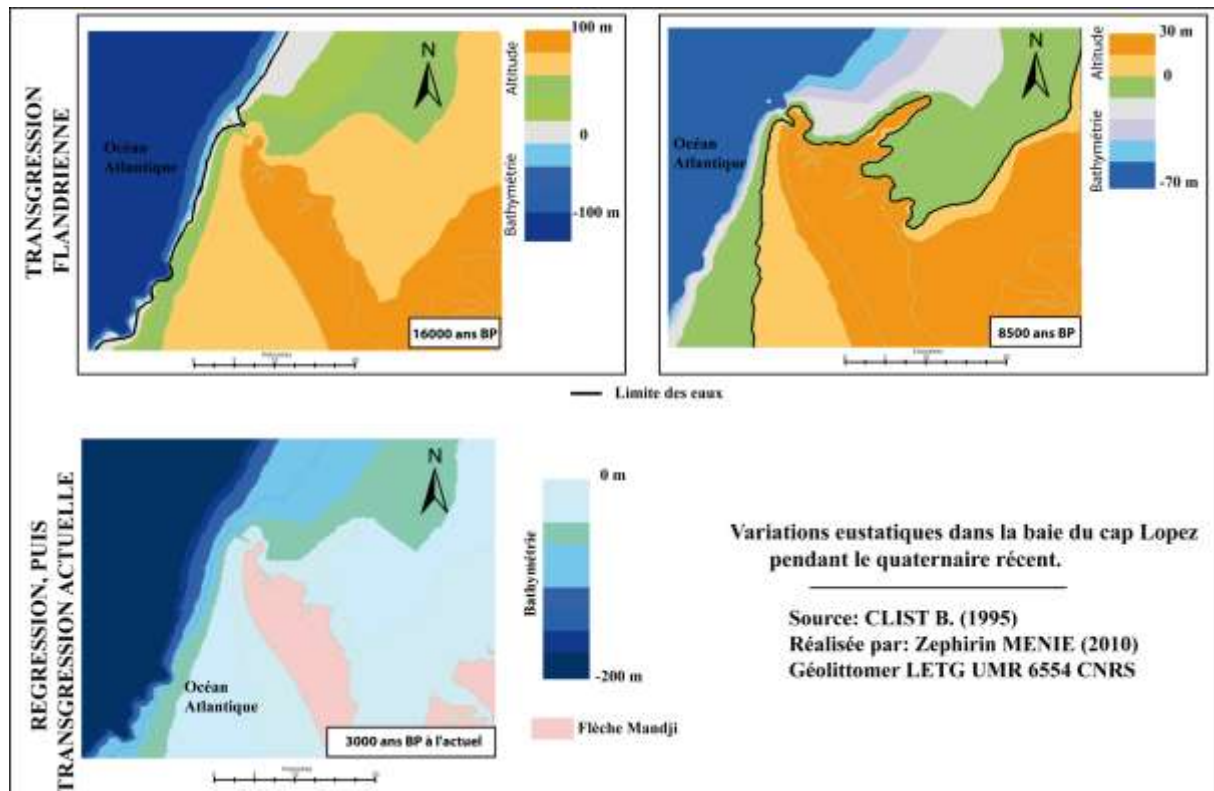
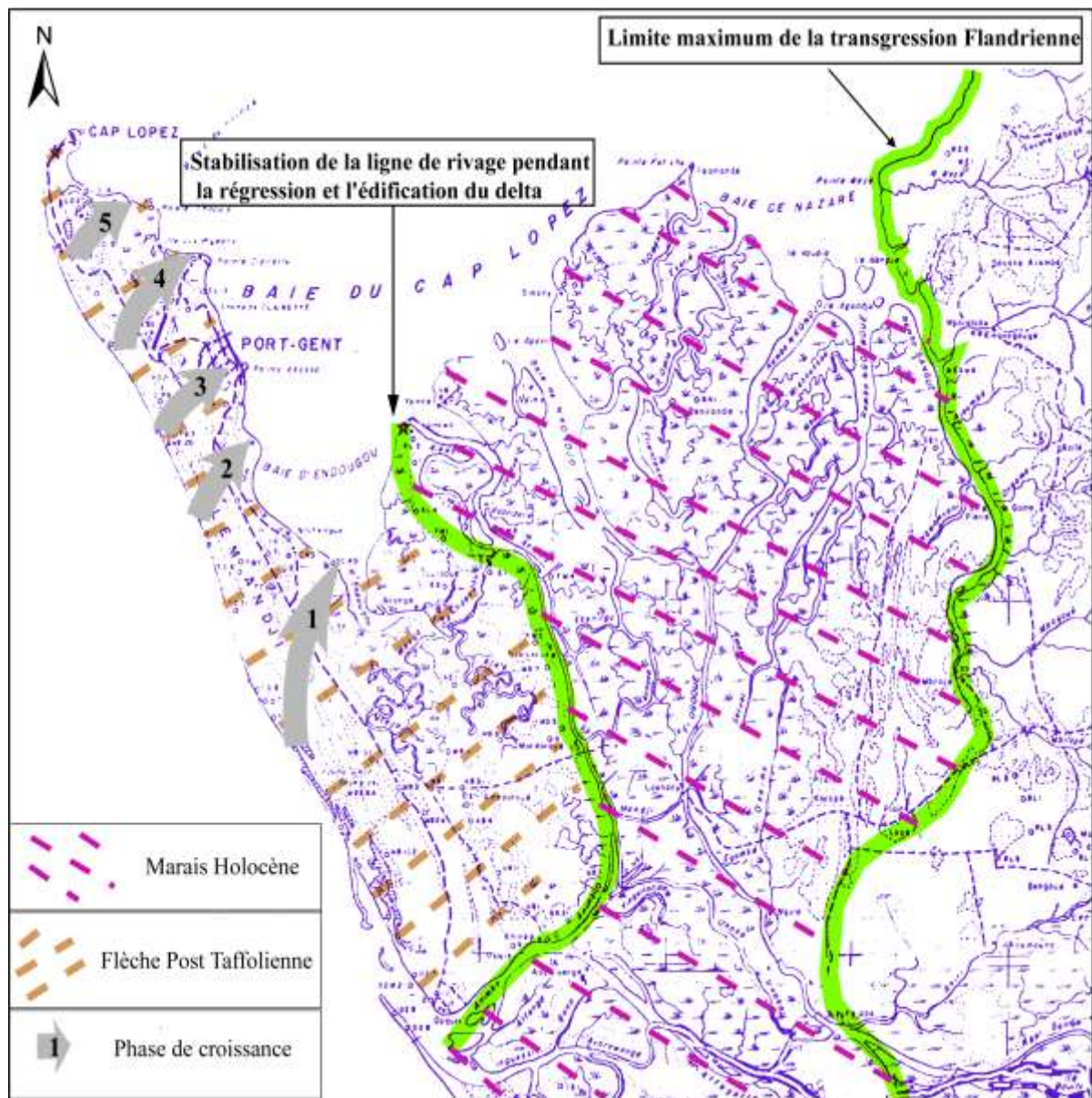


Figure 11 : Reconstitution des paléo-positions du trait de côte depuis la transgression flandrienne

A l'échelle du delta de l'Ogooné, la séquence résulte de la superposition de deux grands cycles sédimentaires : transgression et régression. A l'intérieur de ces deux cycles, de multiples fluctuations de lignes de rivage se traduisent à l'affleurement et aux sondages, par des successions complexes de faciès variés (carbonatés, argileux, gréseux continentaux ou marins) (Morin, 1987). Dans le domaine océanique, les faciès argileux, entrecoupés d'apport détritiques turbides, prédominent.

L'analyse paléogéographique de la sédimentation du delta Nord montre une évolution en trois étapes. D'après Giresse (1969), les paléo-cordons occupés par la savane littorale actuelle en constituent les indicateurs représentatifs de leurs paléo-positions (fig.12). Ainsi, le faisceau de cordons marquant la limite du maximum de la transgression flandrienne se repère dans la région située entre la baie actuelle de Nazaré et la plaine de Mbilapé. Cette limite est orientée SW-NE et allonge les rives des rivières (*Gangué* et *Ngouboné*).

Le faisceau de cordons observé à la pointe Ozombwa représente la stabilisation de la ligne de rivage pendant la régression et l'édification du lobe Nord. La flèche actuelle a été construite pendant l'épisode régressif du niveau de la mer.



1.1.2-Evolution pluriséculaire de la flèche Mandji

a) Période de 1660 à 1886

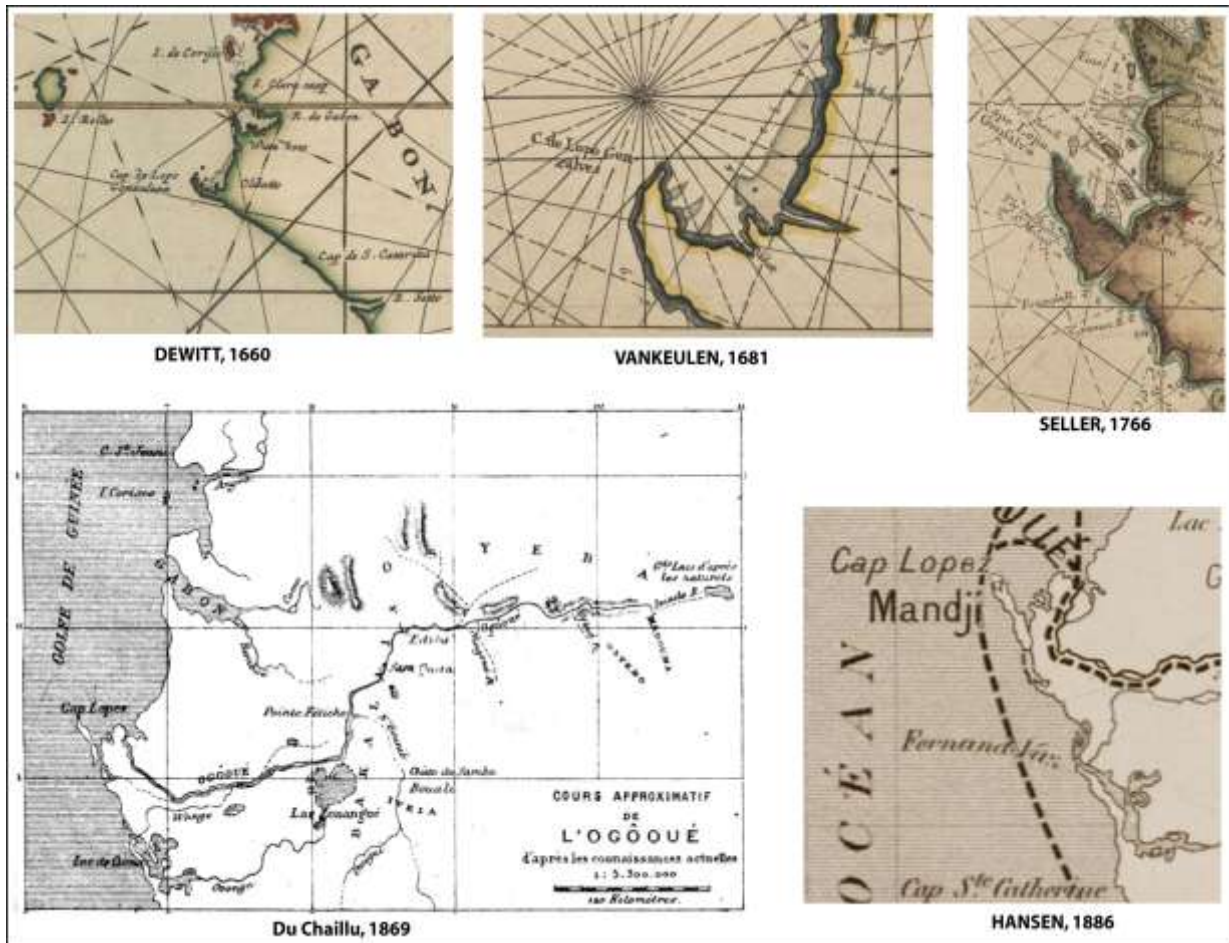


Figure 13 : Cartes anciennes du delta de l'Ogooué de 1660 à 1886 (source : Total Gabon, 2007)

L'analyse de l'évolution de la flèche s'appuie sur une comparaison des cartes anciennes de notre zone d'étude. Ces cartes ou plans levés ont été dressés pour la plupart, par des explorateurs et capitaines de vaisseaux européens. La plus ancienne carte remonte à 1660 (Dewit) et la plus récente est celle de Hansen qui date de 1886 (fig.13).

Une première observation faite sur ces cartes est la forme incurvée du crochet terminal de la flèche vers la baie du Cap Lopez. De même chaque pointe est prolongée par un banc sableux dans les petits fonds de la baie (fig.29). Nous pouvons déduire que la flèche a la caractéristique d'un poulcier qui évolue par crochet successifs. Sa croissance est impulsée par un apport important de sédiments charriés par les fleuves littoraux (*Ogooué* et *Nyanga*) et par l'influence des houles de direction SW qui imposent la formée incurvée des cordons sableux vers l'Est. Les pointes réparties le long de la baie représentent les différents stades de croissance de la flèche et la période [1660-1776] est sa cinquième phase de croissance. A cette époque, l'extrémité terminale se situait donc à la position actuelle de la pointe Chapuis.

Une deuxième observation montre l'isolement de la flèche du reste du delta de l'Ogooué. L'appellation parfois de « île Mandji » pour parler de la flèche Mandji provient de ce fait. L'accrétion du delta Nord a conduit au comblement de la passe *Endougou* par les alluvions tractées par l'Ogooué (fig.14).

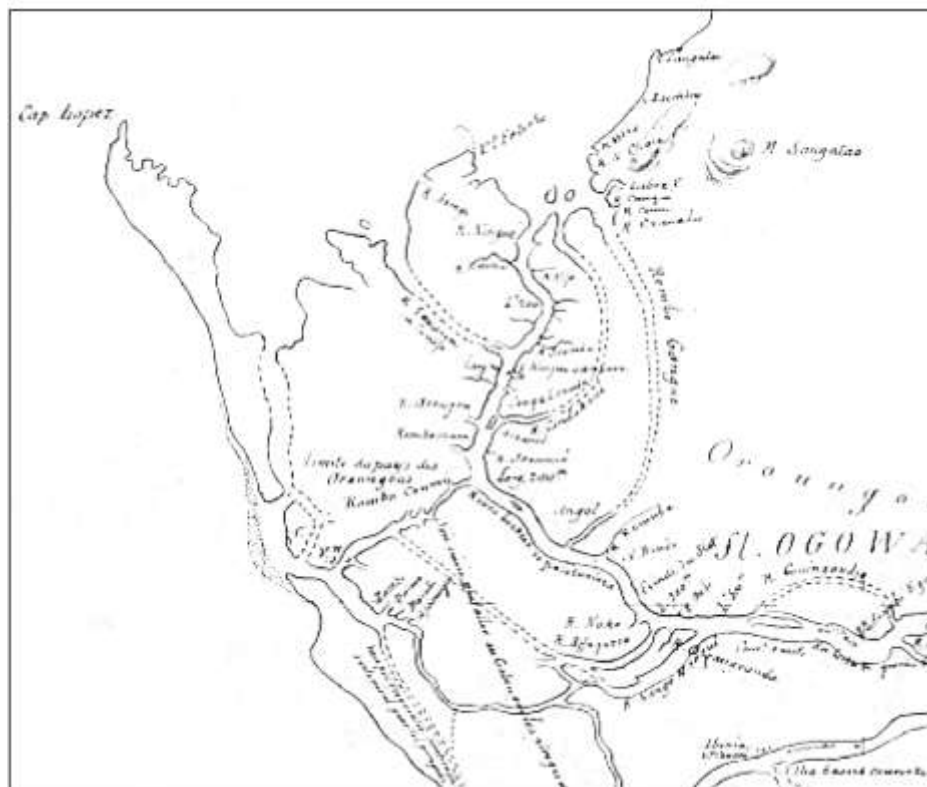
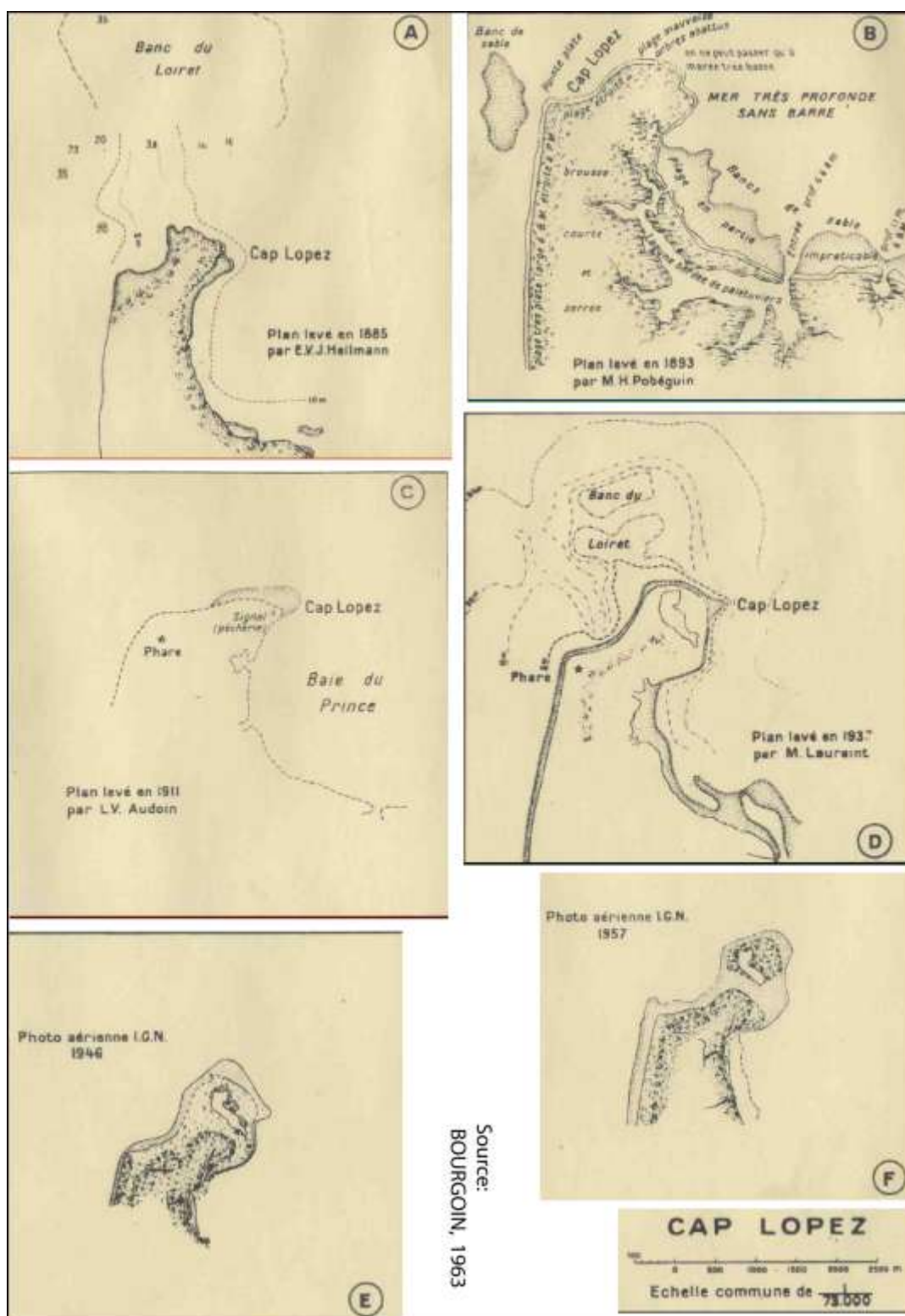


Figure 14 : Plan levé du delta de l'Ogooué réalisée par Du Chaillu (1869)

La carte de Hansen (1886) illustre bien ce passage d'une île vers une presqu'île. Pendant cette période le Cap Lopez se situerait encore au niveau de la pointe Chapuis. A partir des années 1865, on assiste à un début de redressement de la pointe vers l'Ouest, marquant ainsi l'amorce d'une sixième phase de croissance qui aboutira au Cap Lopez actuel.

b) Période de 1885 à 1957

L'année 1885, correspond à la sixième phase de croissance de la flèche. Le Cap Lopez est distant de 2 km environ du banc de Loiret. On voit sur le plan levé d'E.V.J. Heilmann (fig.15), l'influence du canyon qui impose la forme concave à la côte Ouest du cap. De même la forme en Z de la pointe Odden actuelle remonte à une centaine d'années. Cette observation confirme l'hypothèse selon laquelle les glissements enregistrés sur cette plage sont davantage liés à la nature des sédiments.



Entre 1880 et 1937, on observe une fusion entre la flèche Mandji et le banc du Loiret, et la formation d'un lac dit «des baleiniers».

Malgré une imprécision planimétrique annoncée au début de ce chapitre, les cartes anciennes (plans levés) analysées, s'inscrivent tout de même dans la cohérence d'une évolution morphologique récente. Ceci s'explique, d'une part, par le jeu des oscillations eustatiques et de la dynamique du canyon, et d'autre part, par l'action des houles de direction SW.

c) Période 1958-2008

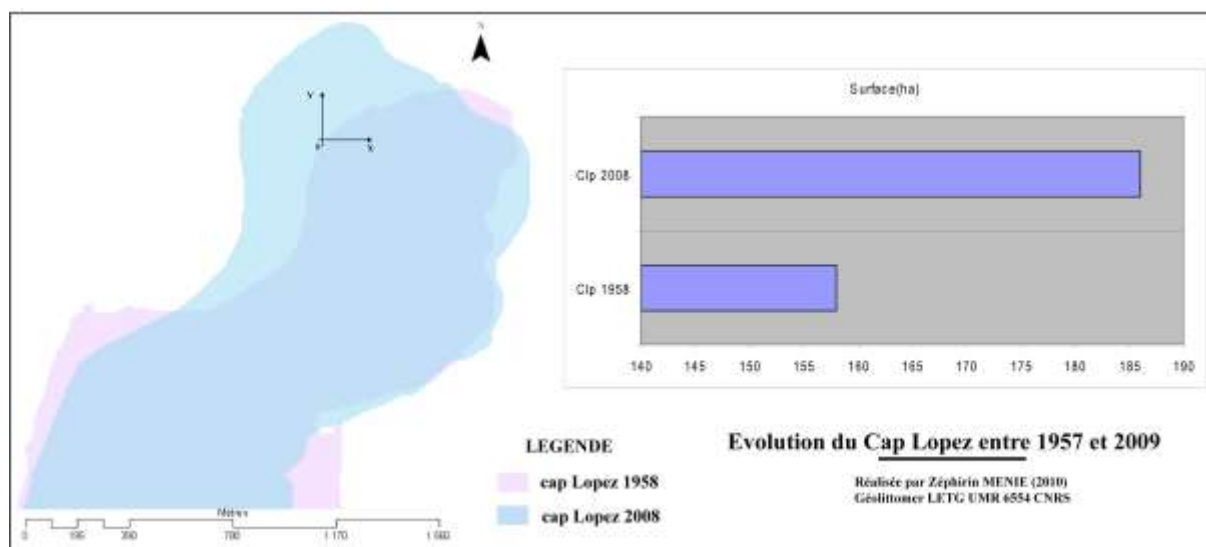


Figure 16 : Evolution de l'extrémité septentrionale de la flèche Mandji entre 1958 et 2008

La comparaison des photographies aériennes de 1958 et 2008, permet d'apprécier la phase de croissance actuelle sur une échelle temporelle de 50 ans (fig.16). L'indicateur surfacique de la zone d'étude révèle une évolution de 28 ha en plus par rapport à la situation de 1958, ce qui correspond à une vitesse de croissance de 0,5 ha/an.

Si la morphodynamique de la flèche était jusque-là attribuée au seul fait des oscillations eustatiques, deux nouveaux éléments viennent s'ajouter à la liste des causes inductrices susceptibles de diriger l'évolution actuelle. Il s'agit entre autres des actions anthropiques et des facteurs météo-marins en jeu.

Il ressort que la flèche Mandji est encore dans sa morphogénèse et le crochet terminal de la flèche se déploie préférentiellement en direction du NW à la rencontre du Banc du Loiret.

1.1.3-Reconstitution paléogéographique de la flèche

L'étape récente de la croissance de la flèche correspond vraisemblablement à la sixième phase qui s'est faite en deux grands cycles : antérieur et actuel (fig.17).

Le cycle de croissance correspond à une succession de trois phases ou étapes, au cours desquelles la croissance s'organise à partir du crochet terminal suivi de son extension vers le Nord-ouest.

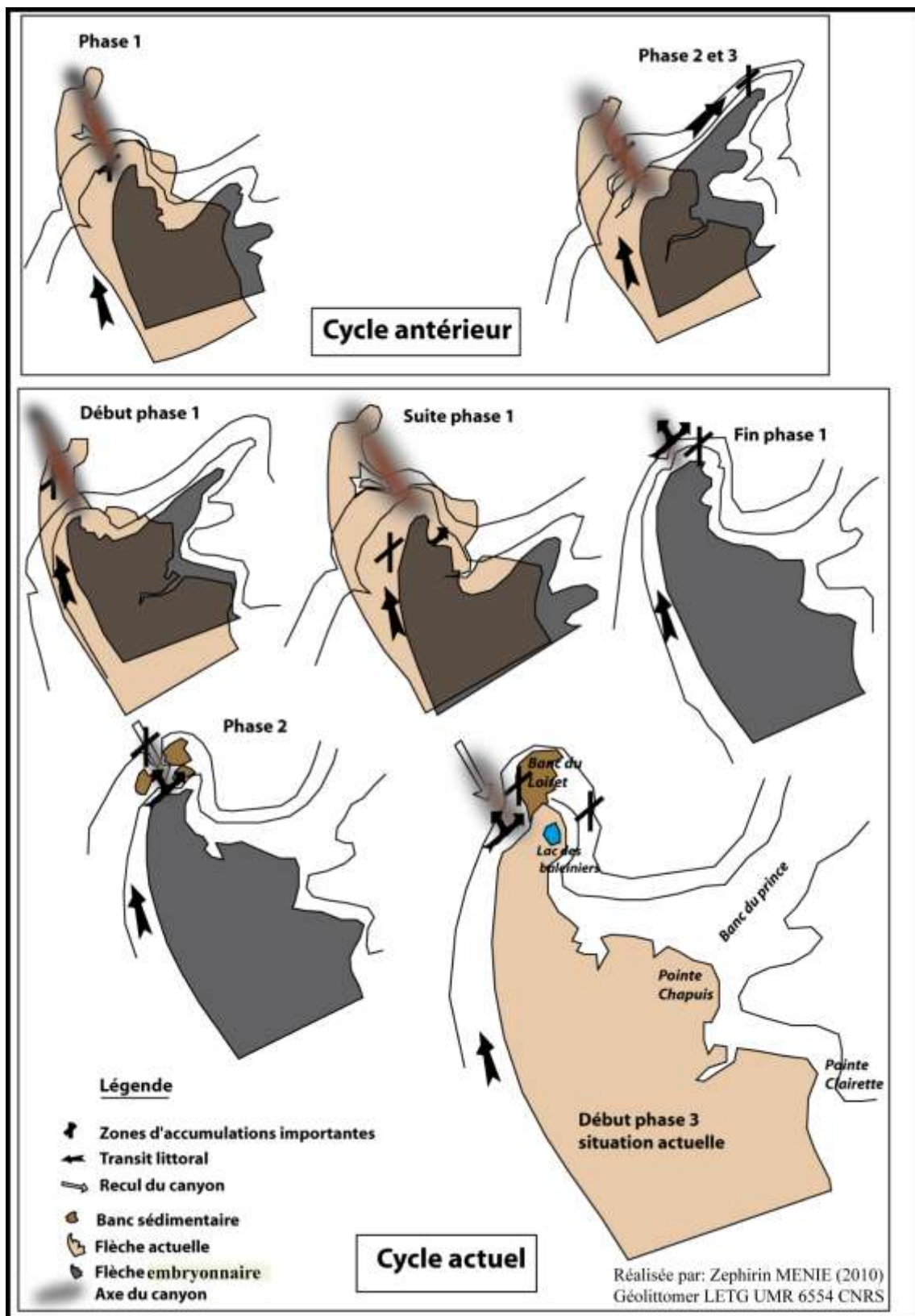


Figure 17 : Essai de reconstitution paléogéographique de la flèche Mandji

a) Du cycle antérieur au cycle actuel

Phase 1

Elle correspond à l'amorce du septième cycle de l'histoire de la croissance de la flèche. Elle consiste à une croissance normale de la flèche littorale. Les cordons littoraux successifs se recourbent en crochets à l'extrémité de la flèche, sous l'action prédominante des houles réfractées par le rivage. Cette phase est marquée par une accumulation sédimentaire maximale sur la plate forme et la pente littorale.

Phase 2 et 3

Durant ces phases, un canyon sous-marin, héritage de la régression Ogolienne, constitue un piège pour les sédiments transitant en bordure de ce littoral. Le transit littoral se répartit en deux fractions: l'une, empruntant l'axe du canyon, va s'accumuler au pied du talus proche du Cap Lopez, l'autre va constituer une flèche secondaire qui est à l'origine du banc du Loiret actuel. Elle correspond vraisemblablement à la situation du plan levé de 1660 faite par le navigateur Dewitt.

b) Cycle actuel

Début phase 1

Le colmatage du canyon sous-marin favorise le redéploiement de la croissance suivant l'axe originel de la flèche. Les sables transitant le long du rivage vont combler la tête du canyon et engraisser particulièrement le secteur délimitant la pointe Renard et la pointe Odden. Le charriage en alluvions des fleuves littoraux et l'intensification du transit littoral à cette époque, favorisent une croissance assez rapide de la flèche. L'extrémité de la flèche secondaire ancêtre du banc du Prince actuel, est envoyée par une élévation du niveau de la mer (légère transgression et une subsidence des dépôts néoformés).

Cette situation ressemble approximativement aux plans levés de 1784 (Zatta) et de 1869 (Du Chaillu).

Conséquence phase 1

On a une croissance normale de la flèche Mandji en direction du banc du Loiret. Cette progression est une conséquence d'un transit littoral entretenu par un alluvionnement important des fleuves côtiers et par une sédimentation des petits fonds situés au Nord du canyon.

Fin de la phase 1

La flèche atteint son niveau maximal de développement. La présence des hauts fonds marins à l'Est, la présence du canyon et les fortes pentes du plancher océanique au niveau du crochet terminal de la flèche, mettent à mal l'amorce de la phase 2 de la croissance en direction du Nord-Ouest.

Phase 2

La phase 2 est marquée par une reprise de l'érosion au niveau de la tête du canyon. Cette érosion entaille profondément l'axe du canyon et érode les cordons situés plus en arrière.

Au cours de cette phase, le crochet terminal se disloque en deux compartiments, dont l'un des vestiges constitue l'actuel banc du Loiret. Cette fracture contribue aussi à une sédimentation de la tête du canyon. Le matériel détritique transitant en bordure du littoral emprunte le canyon et s'accumule près de la côte. Une partie échappe à cette capture et constitue un nouveau crochet orientée vers l'Est. La partie néoformée constitue la zone actuellement occupée par le terminal pétrolier de Total Gabon. Cette situation conforme aux plans levés de 1883 et de 1911.

Début de la phase 3 (situation actuelle)

La fin de la phase 2 est marquée par une inversion de la tendance de la dynamique de la côte. Cette situation se matérialise par une reprise du comblement du canyon qui piège le gros du transit littoral. La fraction sédimentaire qui échappe au piège du canyon converge vers le banc du Loiret et amorce la construction d'un poulcier secondaire homologue de celui du banc de Prince. Cette dernière phase est identique à la situation actuelle.

1.1.4-Conclusion partielle

Trois enseignements sont à retenir à la suite de cette reconstitution :

- Le rôle important des oscillations eustatiques dans la fixation du rivage et le façonnement de la flèche littorale. Le fait que l'ensemble des 25 cordons composants la flèche sableuse aient tous en moyenne la même élévation verticale (5 m en moyenne), nous amène à conclure que la dernière phase de croissance s'est faite lors de la période climatique récente correspondant vraisemblablement à la régression Taffolienne.
- La présence de plusieurs pointes confirme l'hypothèse d'une croissance en plusieurs étapes, impulsée d'une part, par la houle de provenance SW, et d'autre part, par un transit littoral important.
- La phase de croissance en cours de la flèche Mandji est orientée en direction du banc du Loiret à tel point qu'on a du mal à dissocier actuellement la limite entre les deux structures sédimentaires qui jadis étaient distantes l'une de l'autre. En dehors des facteurs naturels qui ont toujours participé à la morphogénèse de la flèche depuis l'Holocène, on note une implication des forçages contemporains qu'il convient de préciser ci-après.

1.2 –PRÉSENTATION PHYSIQUE ET DEGRÉ D'ANTHROPISATION

1.2.1-La flèche Mandji

Le contexte géomorphologique de la flèche littorale est présenté sous 4 aspects physiques (fig.18) : morphologie, type de sol, altimétrie, végétation.

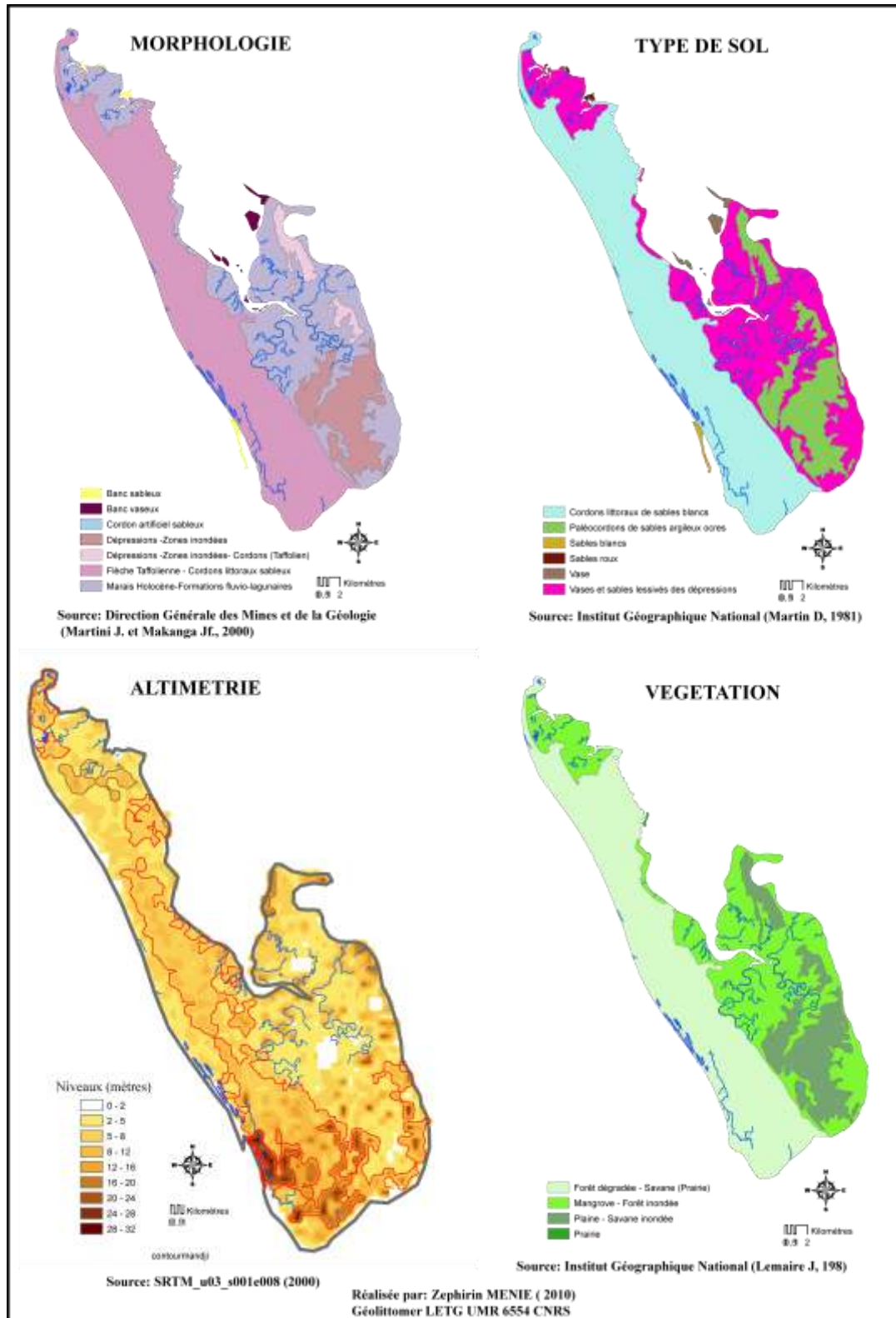


Figure 18 : Aspects physiques de la flèche Mandji

a) Morphologie

La formation de la flèche Mandji est une des conséquences de la régression Taffolienne (3 000 BP) du niveau de l'océan Atlantique (Lebigre, 1983). Cette morphogénèse qui continue jusqu'à nos jours, est entretenue par les facteurs météo-marins actifs et par un apport alluvionnaire des fleuves littoraux (*Ogooué, Nyanga*). Cette formation récente est constituée majoritairement de dépôts sédimentaires à dominance sablo-vaseux. La disposition spatiale des unités morphologiques révèle une répartition en deux faciès distincts : la flèche sableuse à l'Ouest et les dépressions vaseuses à l'Est (fig. 18). La côte Ouest est quasi homogène, tandis que la façade opposée est marquée par des lagunes et de nombreuses pointes. Cette différence morphologique est liée en grande partie à l'environnement physique dans lequel évolue la flèche.

La forme littorale dominante est la plage sableuse. Elle forme de grandes étendues de sable blanc s'appuyant sur des cordons préexistants. Leur dynamique dépend directement des facteurs météo-marins, des apports alluvionnaires du fleuve *Ogooué* et du climat régional. Par ailleurs, on observe une succession de rides parallèles au trait de côte. Ces rides sont séparées entre elles par des dépressions dont l'architecture ressemble à de longs couloirs ou des sillons. Les dépressions constituent de vastes marais maritimes inondés ou inondables. A certains endroits, elles forment de vastes plans d'eaux ou des lacs résiduels.

b) Altimétrie

Cette analyse vise, d'une part, à déterminer une cartographie d'ensemble de la topographie de la flèche, et d'autre part à établir sa contribution dans la dynamique morpho-sédimentaire de la flèche littorale. Cette étude s'appuie sur des traitements de données SRTM et sur un usage des outils numériques qu'il convient de présenter.

Données et modélisation

Le jeu de données utilisé provient d'un modèle numérique de terrain (MNT) monde du SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). C'est une base de données altimétriques couvrant plus de 80% de la surface du globe terrestre, au pas de 90 m. Ces données ont le double avantage d'être facilement interpolable sur simple demande et de couvrir parfaitement notre zone d'étude à plus de 95% de sa superficie totale. Les mesures ont été effectuées en février 2000. Les données sont intégrées dans les bases de données géographiques. Il s'agit d'une grille désignée SRTM_u03_s001e008 en format *.tif géoréférencée dans le système de projection GCS_WGS_1984. L'application 3D ANALYST du logiciel ArcGis permet d'une part, de faire une reclassification de l'image en classes altimétriques, et d'autre part, de procéder à une analyse

de surface. L'ensemble de ces traitements aboutit à une cartographie de la topographie de la flèche (fig.19).

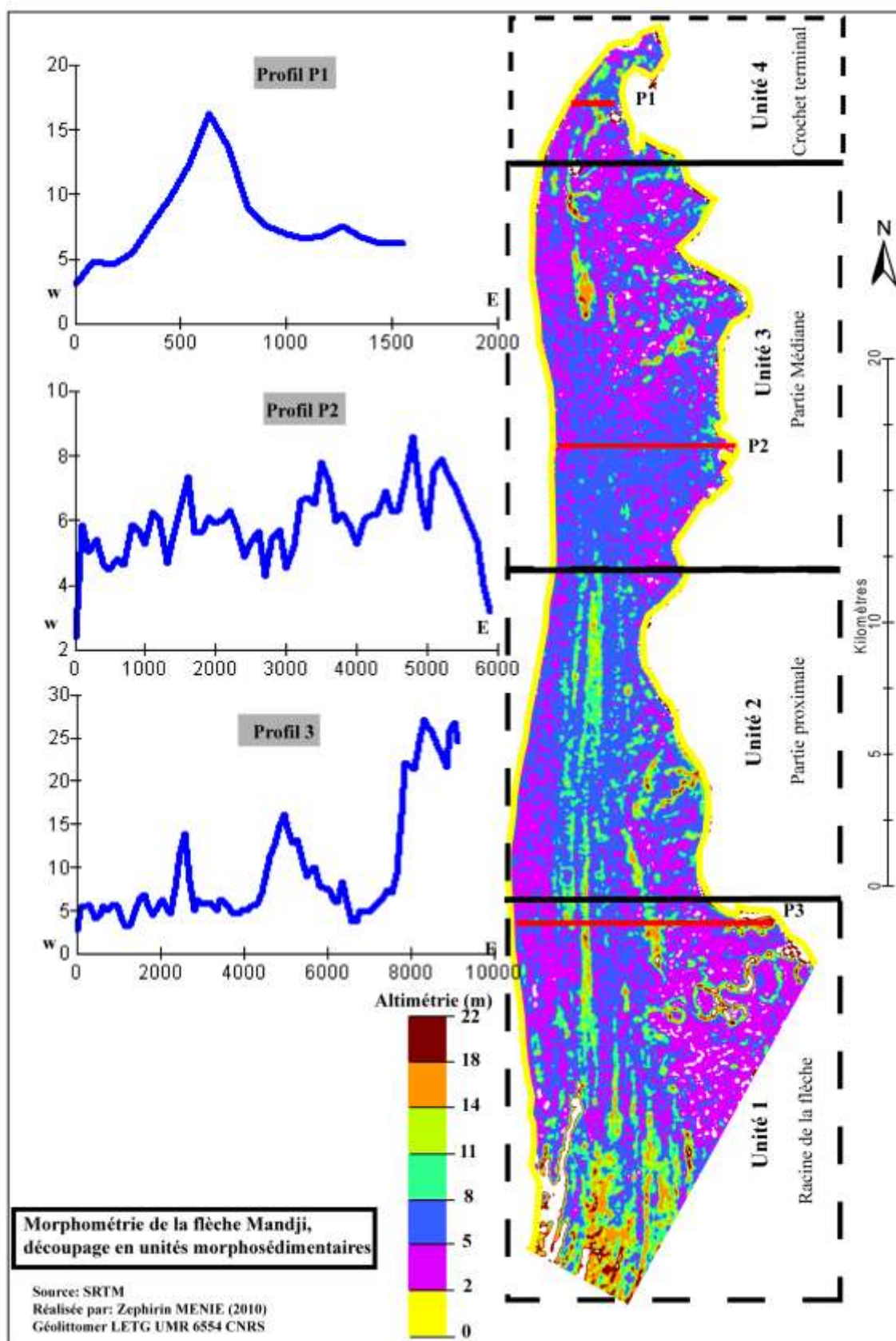


Figure 19 : Délimitation des unités morphologiques de la flèche

Description des unités morphologiques

La flèche Mandji se structure en quatre unités morphologiques qui se distinguent par une alternance de deux directions principales : SE-NW (unité 1 et 3) et SW-NE (unités 2 et 4).

L'unité distale et la racine de la flèche sont distantes de **50 km**. Cette extension, loin dans l'océan Atlantique est à l'origine de la mise en place de la baie du Cap Lopez. De par sa superficie estimée à **275 km²**, elle est la plus grande flèche du littoral Gabonais (fig.19).

En raison de l'immensité de cette flèche, le volume sédimentaire qui la constitue est de fait important. En s'aidant de la fonction ANALYSE DE SURFACE d'ArcGis 9.2 et du fichier SRTM de Mandji, nous avons calculé la statistique de la surface et le volume d'un plan situé au-dessus du niveau repère 0,34 m de hauteur (correspond au zéro hydrographique du Cap Lopez). Le résultat issu de ce traitement donne un volume sédimentaire de 1,7 km³.

L'ensemble de l'édifice sédimentaire est découpé en quatre unités morpho-sédimentaires distinctes (fig.19) :

- Unité 1, c'est la partie de la flèche qui sert de jonction avec le continent. Elle correspond au secteur géographique situé entre l'embouchure d'Ozouri et la station de pompage d'hydrocarbures de Mbéga. Elle constitue la région culminante de l'ensemble de la flèche, avec des points altimétriques avoisinant les 25 m de hauteur. Cet ensemble morphosédimentaire est composé d'une quinzaine de cordons sableux.

- Unité 2, c'est la partie dite proximale de la flèche. Elle s'étend de la pointe Ntchengué à la pointe Iguiri. Altimétriquement, elle vient en deuxième position après l'unité 1 des zones les plus élevées de la flèche. La côte délimitant la baie d'*Endongou* est vaseuse tandis que celle de la façade Ouest Atlantique est sableuse (\pm 5 m de haut). La hauteur maximale atteinte par les cordons est de 18 m et la minimale est de 5 m. L'axe central de l'unité 2 concentre le maximum des points culminants.

- Unité 3, c'est le secteur intermédiaire entre la partie proximale et le crochet terminal de la flèche. Elle englobe toute la ville de Port-Gentil et se situe en moyenne à 8 m au dessus du niveau actuel des eaux. Les secteurs du golfe de Port-Gentil et de l'aérodrome, constituent les zones les plus élevées.

- Unité 4, c'est le crochet terminal qui s'étend de la pointe Chapuis à la pointe Odden et qui englobe tout le Cap Lopez. On observe une topographie quasi plane exceptés quelques affleurements de deux à trois cordons sableux dont les crêtes avoisinent les 15 m de hauteur avec une base de 1000 m environ de large.

Deux faciès morphologiques caractérisent la côte de la flèche selon qu'on se situe à l'Ouest ou à l'Est de son axe principal :

- la côte Ouest basse est faite de plages sableuses et s'étale d'Ozouri au Cap Lopez. Elle présente une allure continue, avec quelques déflexions mineures. La dynamique du trait de côte est impulsée par la houle de direction SW et par un transit littoral abondant. C'est une zone de forte énergie.

- la côte Est, qui alterne plages sableuses et côtes vaseuses, est interrompue par des lagunes (surtout dans sa partie distale) et par de nombreuses pointes (7 au total). Cette façade de la flèche reflète une situation d'une relative croissance ou de stabilité. La marée de faible amplitude (< 2m) constitue le seul forçage. C'est une zone de faible énergie.

La cellule sédimentaire constitutive de la flèche est un ensemble d'une quinzaine de cordons sableux disposés parallèlement à la côte et dont le nombre régresse de la racine vers le crochet terminal (fig.19). On observe des disparités aussi bien sur le nombre de cordons par unité sédimentaire que sur leurs consistances respectives.

Trois secteurs géographiques correspondant à des dénivellements ou à des dépressions se distinguent (+2 m par rapport au zéro hydrographique du Cap Lopez = +0,34 m). Il s'agit entre autres des marais de Mbia-Ntchengué (Unité 1), au Sud-Est du terminal du Cap Lopez (unité 3) et la région des lacs (*Ouanga, Lokilo, Bamoua, Nguilombé*) à l'Ouest de l'unité 1. Ces zones sont inondées en permanence ou temporairement et sont occupées par une végétation hygrophile.

c) Type de sol et végétation

Les différences de végétations sont remarquables à la première observation (fig.18). Cela est une conséquence de la nature et de la répartition des sols (Lebigre, 1983). Le fond des dépressions est en partie colmaté par des limons et les argiles qui retiennent l'eau. En fonction de leur profondeur et de la présence de l'eau, s'installeront les formations végétales telles que la forêt inondée ou hygrophile et les prairies marécageuses. Par contre, sur les cordons sableux, se développe une savane tropicale ou une forêt psammophile.

Le climat qui sera abordé dans la suite de cette partie et la topographie jouent également un rôle important dans la discrimination des sols. Le sol est inféodé à l'eau de pluie ou de la nappe superficielle. Une cartographie de la typologie et de l'hydromorphie des sols est représentée ci-dessous (fig.20) :

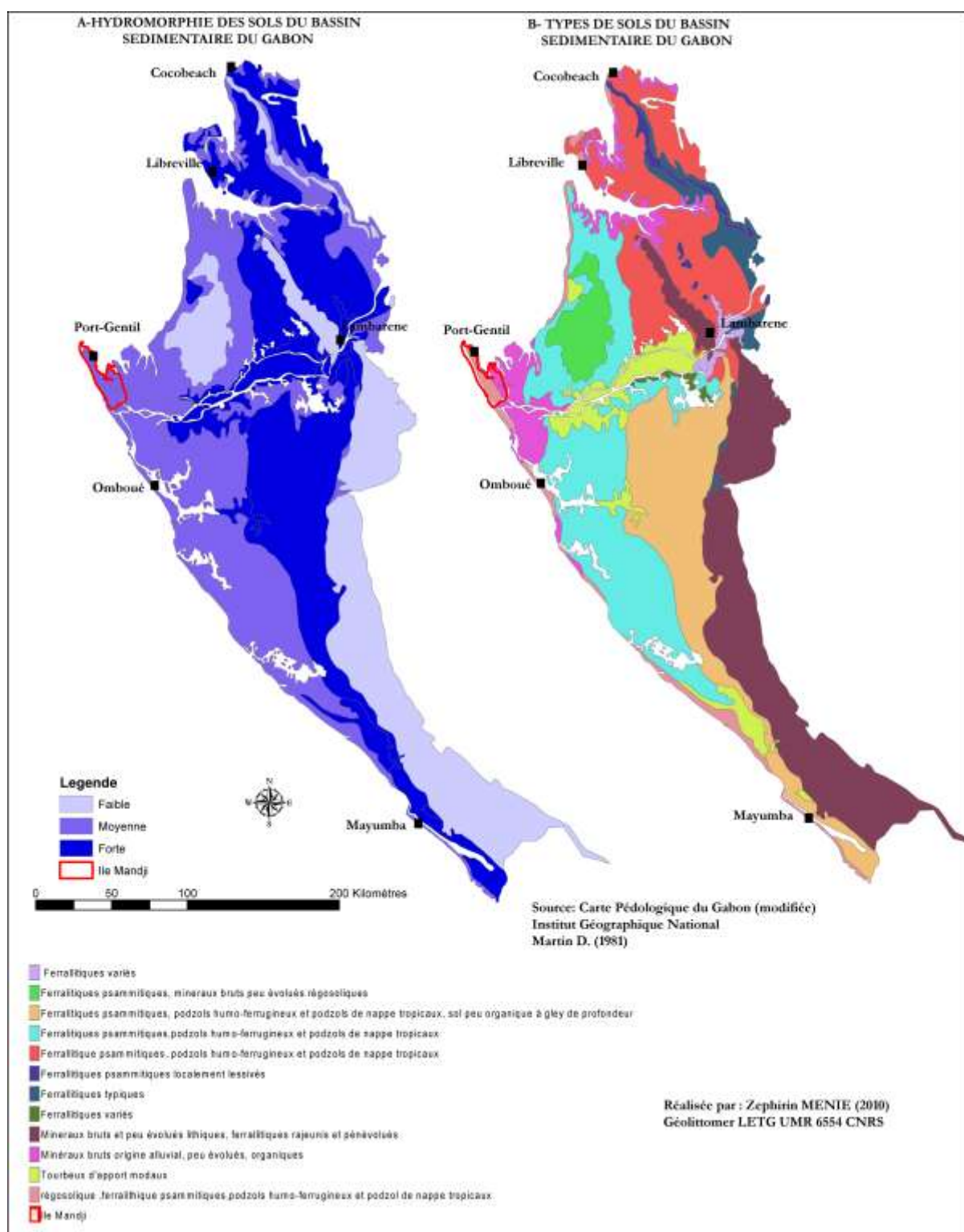


Figure 20 : Typologie des sols de la flèche Mandji

Les sols à hydromorphie moyenne en permanence

La végétation est exposée en permanence à l'eau. C'est une forêt mixte basse (hauteur inférieure à 8 m) à laquelle sont associées les cypéracées. Les dépressions en constituent les principaux habitats. Ici, la matière organique s'entasse et ne se dégrade pas rapidement. Les horizons

pédologiques sont caractérisés par des tâches de couleur grise, bleue ou verte caractéristiques d'un gley.

Les sols à hydromorphie temporaire

C'est le domaine de la végétation herbacée à laquelle sont associées les arbustes et les forêts tigrées. On les trouve particulièrement le long de la façade Ouest de la flèche littorale, sur les replats, les crêtes et sur le haut des plages. En fonction de la saison (pluie ou sèche), le sol se comporte différemment. Durant la saison des pluies, le sol est gorgé d'eau, en revanche, en saison sèche, il est moins humide ou sec. Les sols évoluent vers un pseudogley caractérisé par des tâches de la couleur rouille, jaune et grise.

Le caractère peu évolué des sols de la flèche Mandji est lié à la nature des matériaux exclusivement sableux. On estime la composition du sol à plus de 95% de quartz (Rapport CDCP, 1978 ; Commissariat Général du Plan, 1978).

Les variations topographiques (crêtes, replats et dépressions) et pédologiques (sableux, vaseux) sont très variables et paraissent avoir une influence considérable sur la structure et sur la dynamique du trait de côte.

d) Etude sédimentologique

La granulométrie des sédiments permet de caractériser les conditions énergétiques relatives à la flèche Mandji. Les données exploitées pour la circonstance proviennent d'une part, du Rapport Sectoriel Ecologique du projet « Philippin » (Août 1978) pour la ville de Port-Gentil, et d'autre part, de l'analyse des sables de plage du Cap Lopez effectuée par le laboratoire de mécanique des sols de Delft (1981) pour le compte de Elf Gabon.

Le rapport écologique présente la répartition de la fraction granulométrique de l'ensemble de la flèche littorale. Ainsi, huit échantillons sédimentaires ont été prélevés sur les côtes Ouest et Est, ainsi que leur positionnement géographique a été déterminé par GPS.

L'étude géotechnique de la côte du Cap Lopez faite par le laboratoire de Delft fournit d'une part, la densité des sables, et d'autre part, la mesure du grain médian sur sept échantillons de sédiments (fig.21).

Les données alphanumériques issues de ces deux rapports sont intégrées dans la base de données plage (BDP). L'analyse géostatistique et les traitements effectués en amont du SIG ont donné les résultats présentés par les figures 21 et 22.

On retient ainsi deux types d'information : la typologie des sols et la fraction granulométrique des sédiments prélevés sur l'estran découvert du littoral de la flèche Mandji.

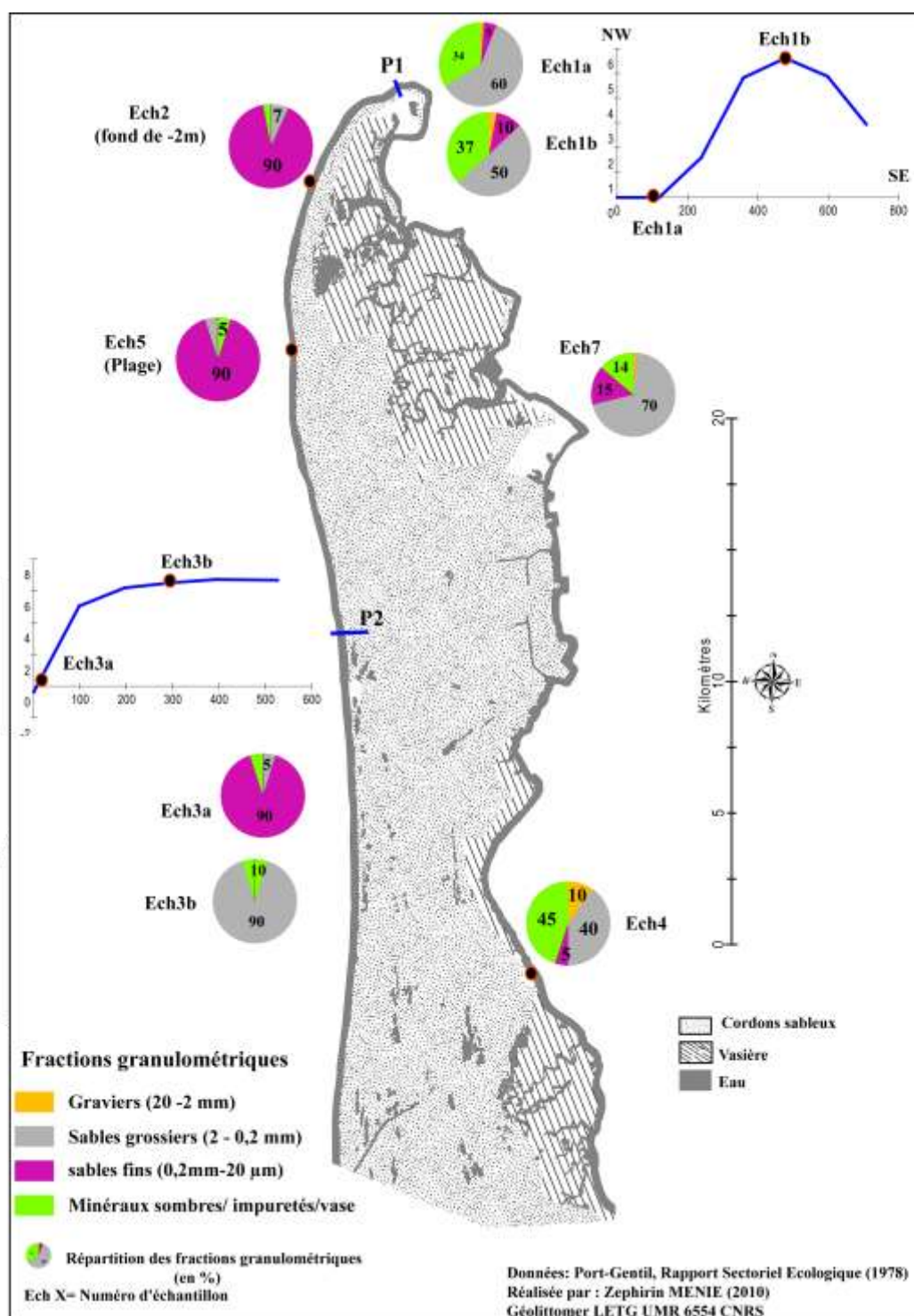


Figure 21 : Caractéristiques sédimentologiques des estrans de la flèche sableuse

Concernant les types des sols, globalement on en dénombre deux principaux. Il s'agit des sols sableux des cordons et les sols vaseux des marais. Les deux types de sols se distinguent par le type de couverture végétale liée.

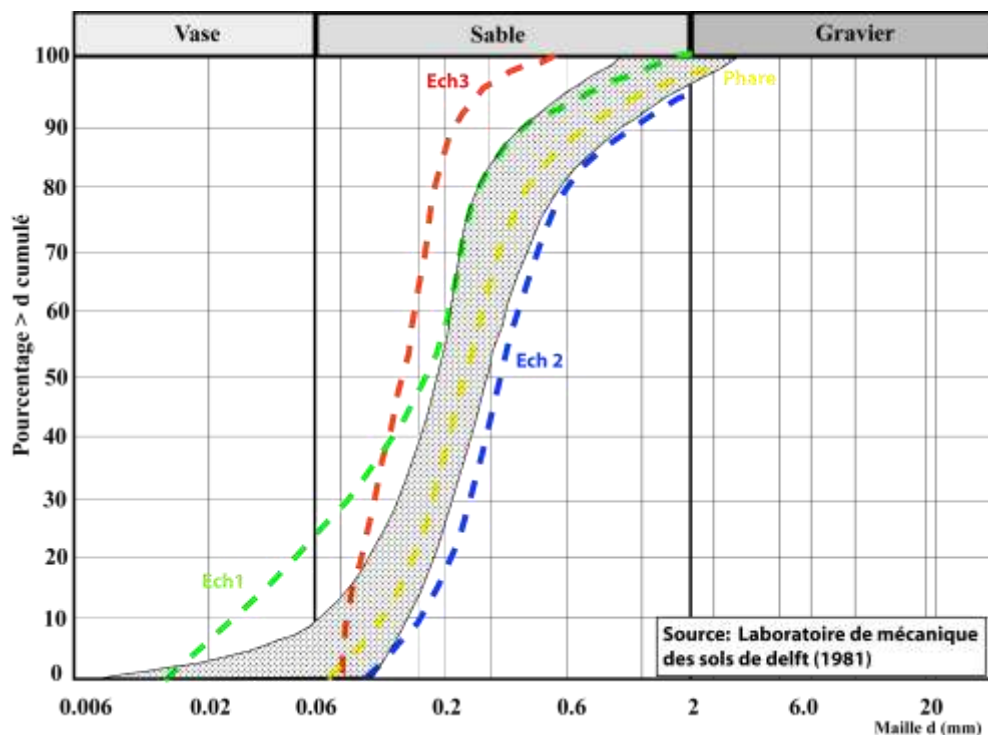
Les dépôts sableux s'organisent en une succession de rides parallèles au trait de côte, séparées par des dépressions qui forment de longs sillons. En effet, le fond des dépressions est en partie colmaté par des limons et des argiles peu perméables à l'eau. La vasière la plus importante est

celle qui circonscrit les lagunes du Cap Lopez. Il convient de signaler que ces marais ne s'observent que du côté de la baie, tandis que le littoral Ouest, exposé aux houles SW, n'en dispose pas. Cette situation est certainement liée à une différence évidente d'énergie entre les deux domaines marins.

La fraction granulométrique quant à elle, est composée de graviers [$2\text{mm} \leq D \leq 7\text{mm}$], de sable grossier à fin [$0,06\text{mm} \leq D \leq 2\text{mm}$], d'une fraction très fine vaseuse [$0,006\text{mm} \leq D \leq 0,06\text{mm}$].

Deux secteurs géographiques Est et Ouest se distinguent systématiquement par la composition et la nature des sédiments, correspondant chacun à une organisation sédimentaire spécifique.

En effet, le littoral Ouest est dominé par une fraction sableuse fine et bien triée (+ de 90%). Le secteur Est, côté baie du Cap Lopez, présente une granulométrie composée d'un mélange de sable (70%) de gravier (10%) et de vase (20%).



Graphique 3 : Courbes granulométriques numériques cumulatives pour 4 échantillons de sédiments prélevés sur la plage du Cap Lopez (Total Gabon, 2007 ; modifié)

Les courbes granulométriques (Graph.3) présentent des sédiments dont le diamètre est compris entre 0,006 mm et 2 mm. Il s'agit donc des sables très fins à grossiers. Du point de vue du tri, les courbes cumulatives sont très bien redressées, ce qui démontre que les sables sont bien triés. Selon Folk (1966), l'indice de classement S_o (Sorting Index) permet de décrire le classement des sables. La formule générale est :

$$S_o = [(Q_{84} - Q_{16})/4 + (Q_{94} - Q_5)/6,6]$$

Avec :

$So < 0,35$ (sables très bien classés)

So compris entre $[0,35 - 0,50]$ (sables bien classés)

So compris entre $[0,50 - 0,71]$ (sables moyennement bien classés)

So compris entre $[0,71 - 1]$ (sables moyennement classés)

Dans le contexte de la flèche Mandji, on a un $So < 0,14$ indicatif des plages à sables très bien classés.



Figure 22 : Diamètre médian des échantillons de sédiments prélevés sur la côte du cap Lopez

Les analyses sédimentologiques effectuées à l'échelle du Cap Lopez (fig.22), ont montré que ces échantillons ne contenaient aucun carbonate correspondant à des coquilles d'animaux marins et

que leurs granulométries révèlent que 75% des sables sont fins, très homogènes et bien triés. Il s'agit de sables d'origine terrestre triés par la houle de direction SW.

e) Données climatologiques du littoral

Le traitement des levés pluviométriques depuis 1951 sur le littoral gabonais révèle 4 classes pluviométriques. Deux éléments importants sont pris en compte : la durée de la saison et la moyenne annuelle de pluviométrie (fig.23). La flèche Mandji (Port-Gentil, Cap Lopez) reçoit en moyenne 2500 mm/an, avec un maximum de pluies en novembre et un minimum en juillet-août (Livre blanc, 1983). La durée moyenne de la saison sèche est de 3 mois à Port-Gentil.

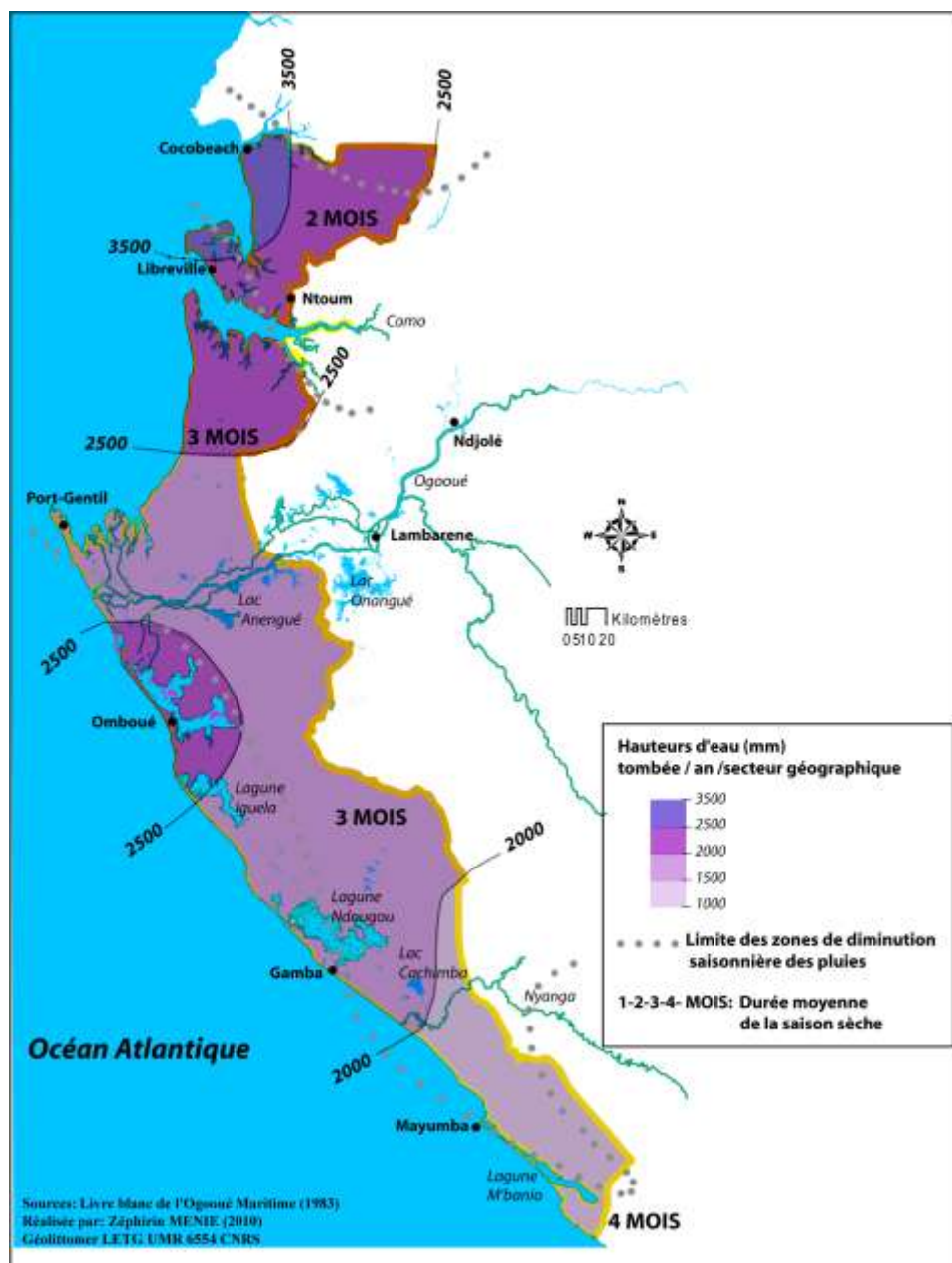
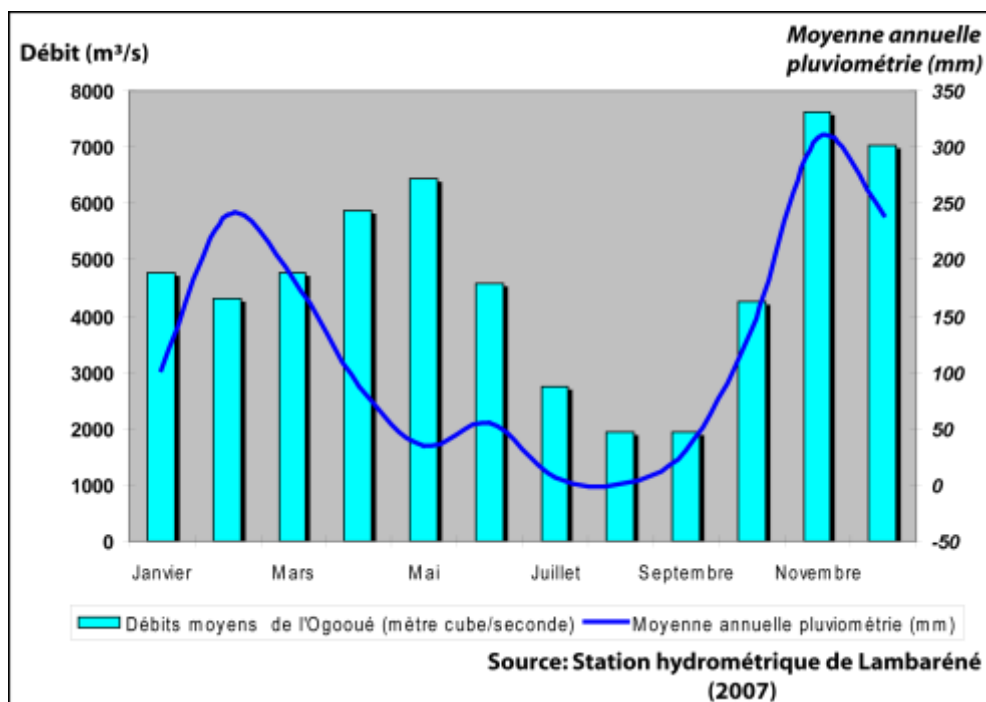


Figure 23 : Répartition des grandes zones pluviométriques sur le littoral du Gabon (modifiée)

Le questionnement de la mise en place de la flèche Mandji, nous amène à traiter de la source sédimentaire, de son transit et d'en faire une estimation chiffrée.

Le fleuve *Ogooué* traverse le pays d'Est en Ouest, parcourant ainsi une distance de 900 km environ. Il prend sa source au Congo-Brazzaville, dans les monts N'talé culminant à 850 m par rapport au niveau de la mer. Son exutoire forme un appareil deltaïque dont la limite terre/eau est marquée par la présence de la flèche Mandji.



Graphique 4 : Histogramme des débits moyens mensuels du fleuve *Ogooué*. Mesures effectuées à la station hydrométrique de Lambaréné entre 1930 et 1975

Le graphique 4 ci-dessus, représente une série de mesures des débits moyens mensuels de l'*Ogooué* effectuées à la station de Lambaréné de 1930 à 1975. Une moyenne à l'année effectuée sur la base de ces statistiques donne un débit moyen annuel d'environ 4 690 m³/s. La courbe des débits montre une irrégularité sur toute l'année, avec un débit extrême en novembre (7 619 m³/s) et débit minimal en août (1 930 m³/s). L'analyse comparée de deux graphiques (Graph.4), révèle une relation étroite entre le régime du fleuve et la pluviométrie de la région. L'apport sédimentaire sur le littoral de Mandji en dépend également non seulement des deux facteurs précités, mais aussi de la superficie du bassin versant de l'*Ogooué*.

Le bassin hydrographique de l'*Ogooué* mesure approximativement 225 000 km², soit un peu plus de 2/3 de la superficie totale du GABON (fig.24). Il se positionne alors comme étant le principal pourvoyeur en sédiments des plages et des cordons littoraux de la flèche. On comprend alors le lien indissociable entre la morphogénèse de la flèche et le bassin versant de l'*Ogooué*. La dérive

littorale le long de la façade atlantique est sous l'action des houles dominantes de direction Sud à Sud-ouest. Le transit sédimentaire a été évalué pour la première fois par Bourgouin et al (1963) puis par Giresse (1980) entre 300000 et 400 000 m³/an. Selon les mesures effectuées par Elf Aquitaine (1983), il serait compris entre 200 000 à 500000 m³/an. Au stade actuel de notre investigation, on ne dispose pas de données chiffrées sur le volume de sédiments apportés par l'Ogooué. Nous ne sommes donc pas en mesure de nous prononcer sur le budget sédimentaire réel annuel des plages de la flèche Mandji. Cependant, nous pouvons affirmer que le plus gros des apports sédimentaires sur le littoral proviendraient du bassin de l'Ogooué.

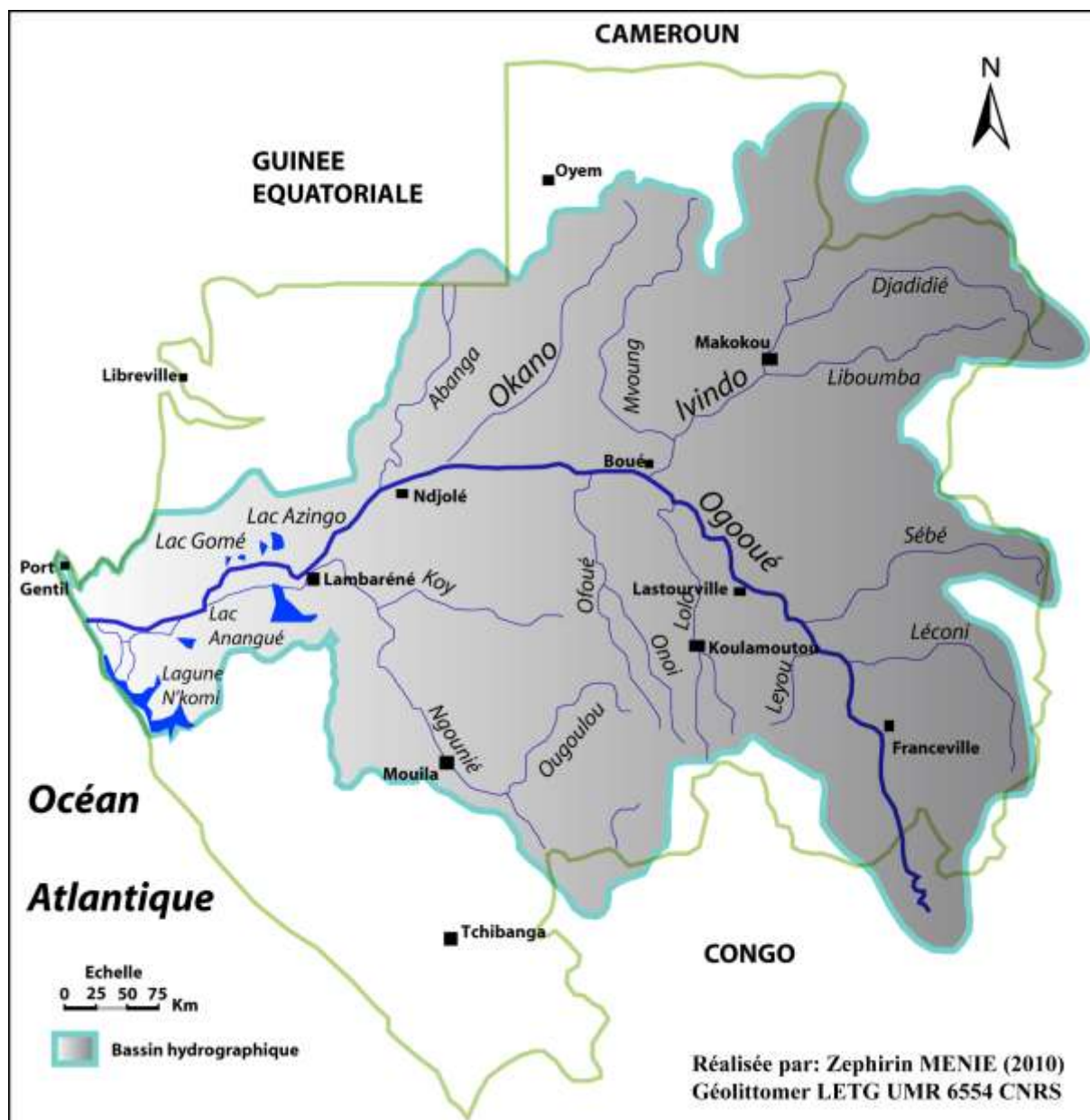


Figure 24 : Limite du bassin versant de l'Ogooué

f) Hydrographie des petits fonds marins

On dénombre trois grandes régions morphologiques distinctes constituant le lobe marin du delta de l'Ogooué. Il s'agit entre autres du plateau continental Ouest, de l'unité sommitale de la flèche et de la baie de Port-Gentil (fig. 25).

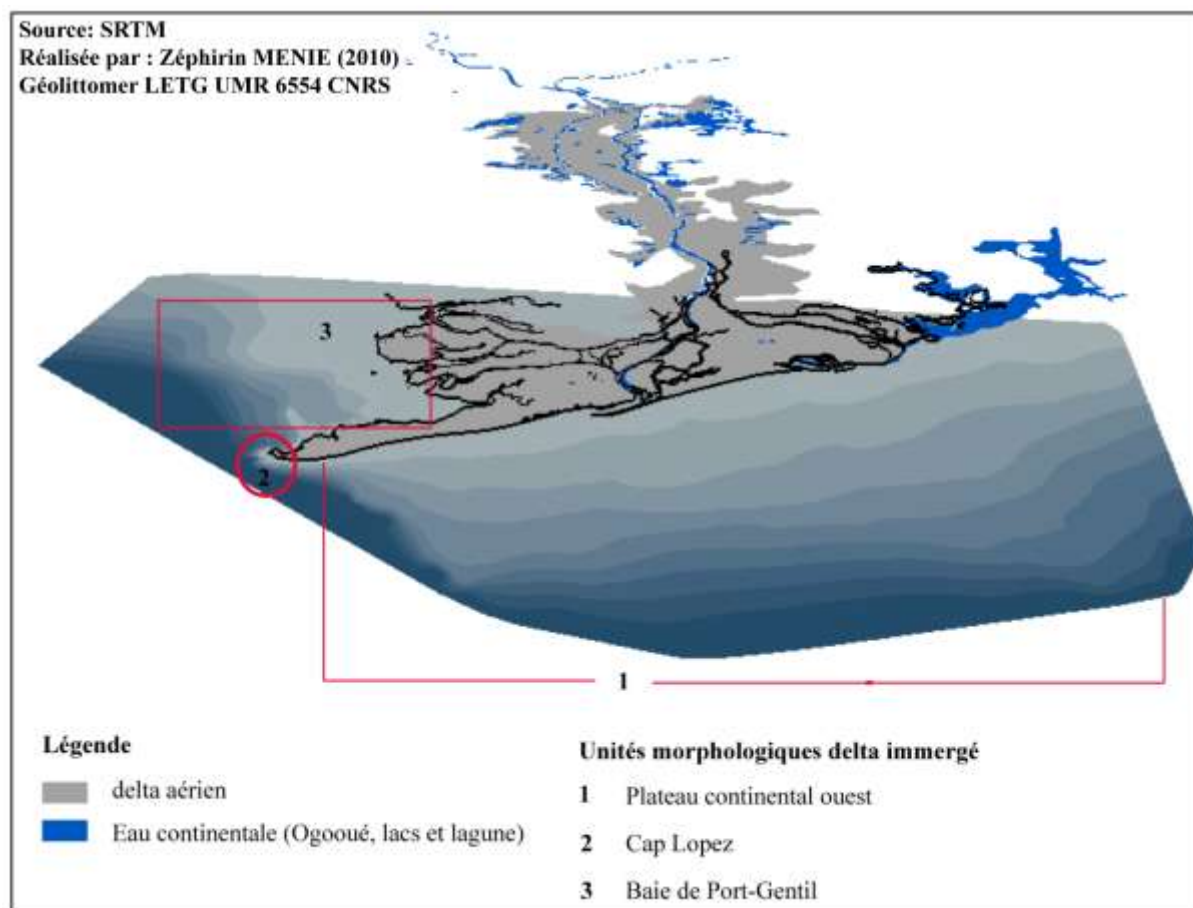


Figure 25 : Illustration en 3D du delta de l'Ogooué

Le plateau continental Ouest (unité 1)

La limite supérieure du plateau continental Ouest (1) est fixée au trait de côte actuel. En revanche, la limite inférieure correspondant généralement à la rupture de pente, se situe en moyenne à 150 m de profondeur.

Le plateau continental est formé d'une couche de sédiments superficiels récents, superposée à des dépôts Maestrichtiens. On note une forte extension spatiale du plateau entre l'embouchure d'Ozouri et la ville de Port-Gentil. Il se rétrécit autour du crochet terminal de la flèche et s'étend sur une superficie d'environ 4 350 km². Sa largeur varie du Sud (environ 50 km) vers le Nord (3 km en moyenne). Ainsi, au niveau du Cap Lopez, la ligne bathymétrique - 105 m se situe à 4 km par rapport au trait de côte tandis que la ligne -50 m se situe à 30 km au niveau de l'embouchure d'Ozouri. La pente des lignes bathymétriques comprises entre -5 à -120 m est relativement faible de l'ordre de 1 à 5%. On distingue du Nord au Sud de ces fonds marins, une succession de deux

lobes deltaïques fossiles : le premier au large de la lagune N'komi et le second en face de l'embouchure d'Ozouri. On observe suivant le cantonnement des sédiments en cours, une progradation d'un troisième lobe regroupant la flèche Mandji et la baie de Port-Gentil. Cette succession de lobes permet dans une certaine mesure de comprendre les directions de croissances prises dans le temps par la flèche et fournit des éléments de compréhension quant à la problématique de l'évolution actuelle de la flèche.

Cap Lopez (unité 2)

- Pointe du phare-Banc du Loiret (fig. 26)

Le plateau continental présente trois faciès morphologiques assez distincts qui conditionnent la dynamique sédimentaire. À l'Ouest, précisément au pied du phare, les fonds marins sont entaillés par un canyon perpendiculaire au rivage. À l'Est, la plateforme continentale est marquée par des pentes abruptes et entre les deux zones se développe un banc sous-marin dit banc du Loiret. Le canyon a été mis en évidence par M. Lauraint en 1937, puis précisé par la mission hydrographique de J. Bourgoïn de 1958-1959 (Cahiers Océanographiques, 1963).

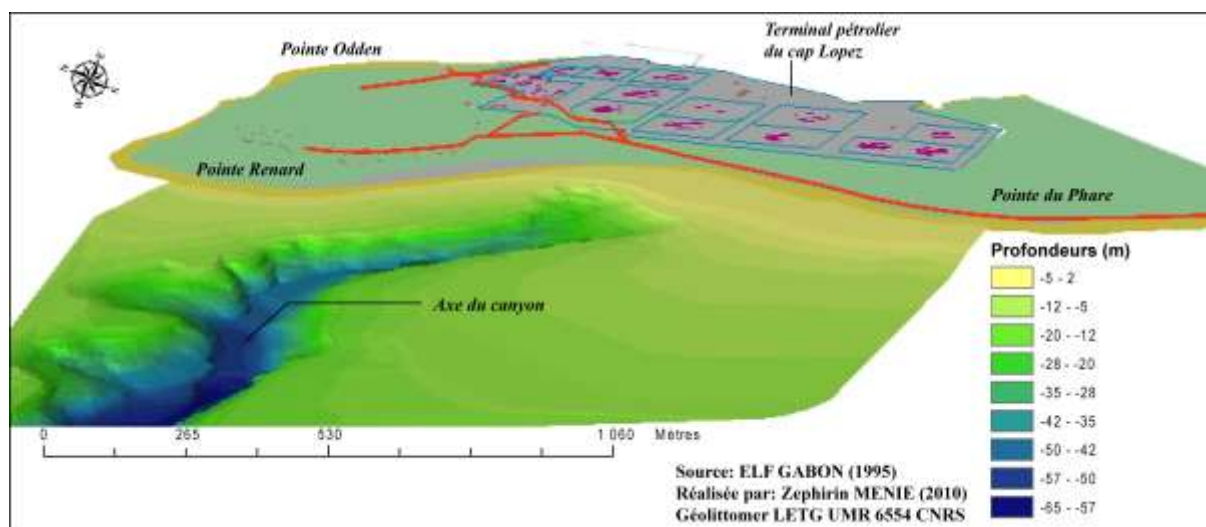


Figure 26 : MNT du canyon du Cap Lopez (situation de 1995)

Le canyon du Cap Lopez sépare le plateau continental en deux compartiments à très faible pente, de 1% à 2%. Cette vallée sous marine est orientée NW-SE. Elle se prolonge dans l'océan Atlantique au-delà de -100 m de profondeur soit à environ 1 200 m de la côte. Il se caractérise par deux changements majeurs de direction et est entaillé par des flancs présentant des pentes importantes de l'ordre de 50% par endroit. La tête du canyon s'étale sur plus de 1 000 m de long, en partant de la pointe du phare jusqu'au sud de la pointe Renard. Elle impose la forme concave qu'on observe sur cette plage. La présence du canyon, conditionne le transit littoral en

provenance du Sud. Son positionnement perpendiculaire au trait de côte constitue un piège à sédiments. Il représente un handicap pour la croissance éventuelle de la flèche Mandji et de fait influe sur la répartition sédimentaire le long de cette portion de côte.

Une prospection vidéo de son axe principal, effectuée par Elf Gabon, a révélé la mobilité de celui-ci (fig.27).

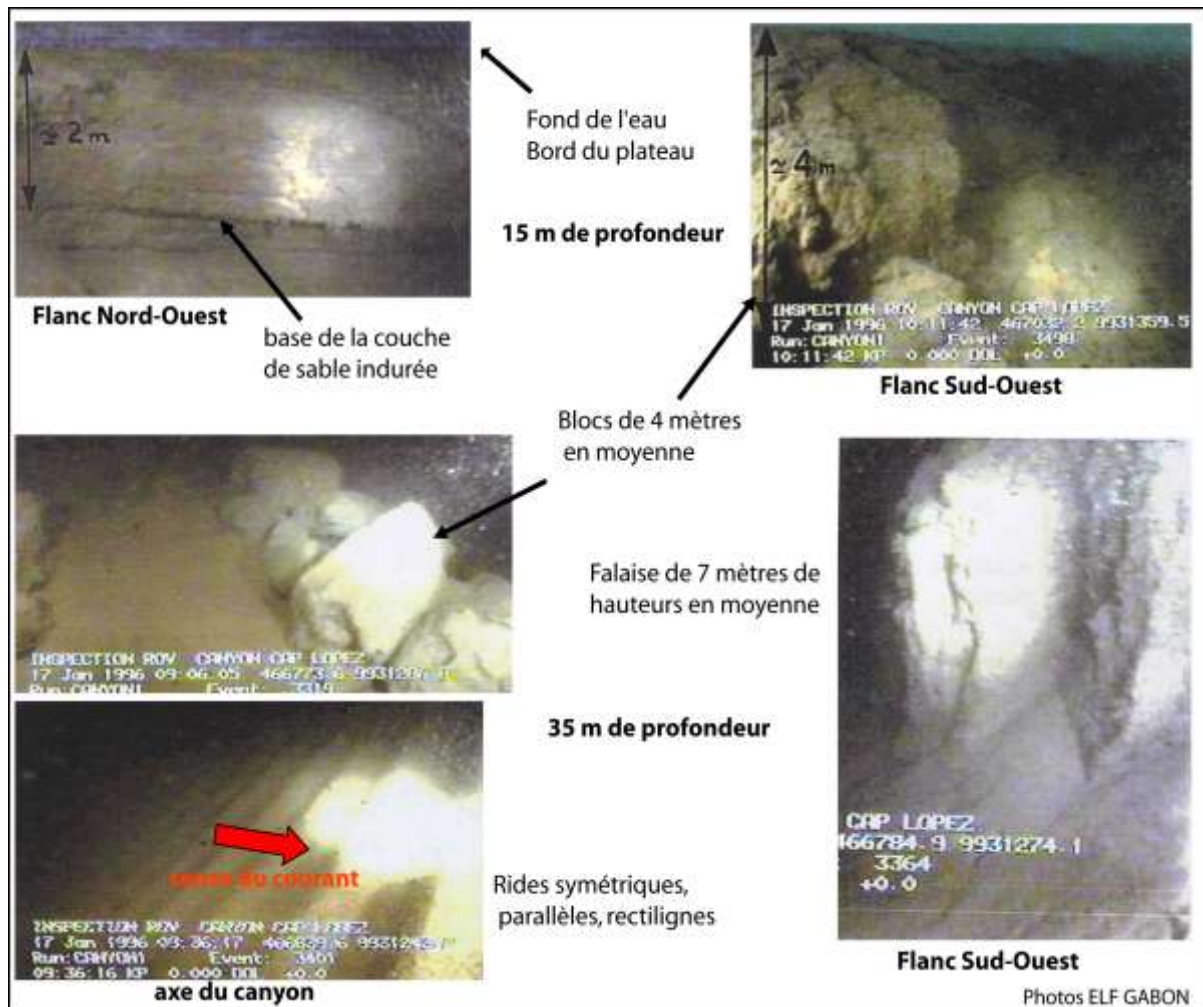


Figure 27 : Vue de l'axe principal du canyon (Elf Gabon, 1996)

Le canyon a un tracé méandrique, avec des falaises à pentes variables en fonction des profondeurs. Les relevés bathymétriques effectués régulièrement par Elf Gabon puis par Total Gabon, montrent des évolutions importantes de son tracé. On note perpendiculairement à l'axe principal la formation des axes secondaires orientés NS. Il apparaît de même des zones d'effondrements matérialisés par des loupes d'arrachement. Les flancs abrupts sont de vraies falaises stratifiées et apparemment indurées depuis le sommet du canyon, alternant avec des corniches recouvertes de sable. Les gros blocs éboulés s'empilent localement au pied des falaises ou bien ils sont distribués par le courant le long de l'axe principal.

La partie sommitale (15 m) est très abrupte avec des falaises plurimétriques au niveau du rebord du plateau continental. Localement, cette falaise sommitale montre une face massive et lisse, avec un profil rectiligne et régulier (fig.27).

Sous la falaise sommitale, et jusqu'au fond du canyon alternent des bancs indurés en saillie et des corniches recouvertes de sables meubles, parfois par de gros blocs.

On note **une stratification** des couches composantes des falaises. Elles présentent un litage parallèle. Localement, on note des bancs érodés et parfois une stratification ondulée (action de courants/tempêtes).

De même, on observe depuis une trentaine d'années un recul de la tête du canyon par érosion régressive. Cette mobilité est à l'origine du recul de trait de côte et les dégâts engendrés sur les installations du terminal pétrolier de Total Gabon.

-Le banc du Loiret

Entre la pointe Renard et la pointe Odden, se dresse un banc de sable ; « le banc du Loiret ».

Sa stabilité n'est pas mise en cause ici, car on assiste plutôt à sa progradation. Une partie des sédiments en provenance du Sud échappent au piège du canyon en contournant la tête de ce dernier. La position du banc à l'abri des houles de direction Sud et Sud-ouest, favorise sa sédimentation et explique les faibles profondeurs rencontrées en ce lieu.

- La pointe Odden-Quai des Chalands (fig.28)

Elle concerne la plateforme continentale de la façade Est de l'extrémité septentrionale de la flèche Mandji. Cette partie supporte le poids des installations de l'unique terminal pétrolier du Gabon. Cette zone stratégique pour l'activité pétrolière est marquée par un accès immédiat à des hauts fonds marin (-100 m de profondeur par rapport au trait de côte).

Le modelé est marqué par des pentes très abruptes de l'ordre de 25%. On observe deux loupes de glissements témoins d'une instabilité des dépôts sédimentaires. Elles donnent la forme concave observée sur la plage de la pointe d'Odden. Celles-ci correspondent aux différentes têtes des vallées sous-marines incisées par l'érosion et constituent les points critiques à l'origine des glissements répétés de la côte. De ce fait, elles constituent une menace pour le terminal pétrolier de Total Gabon.

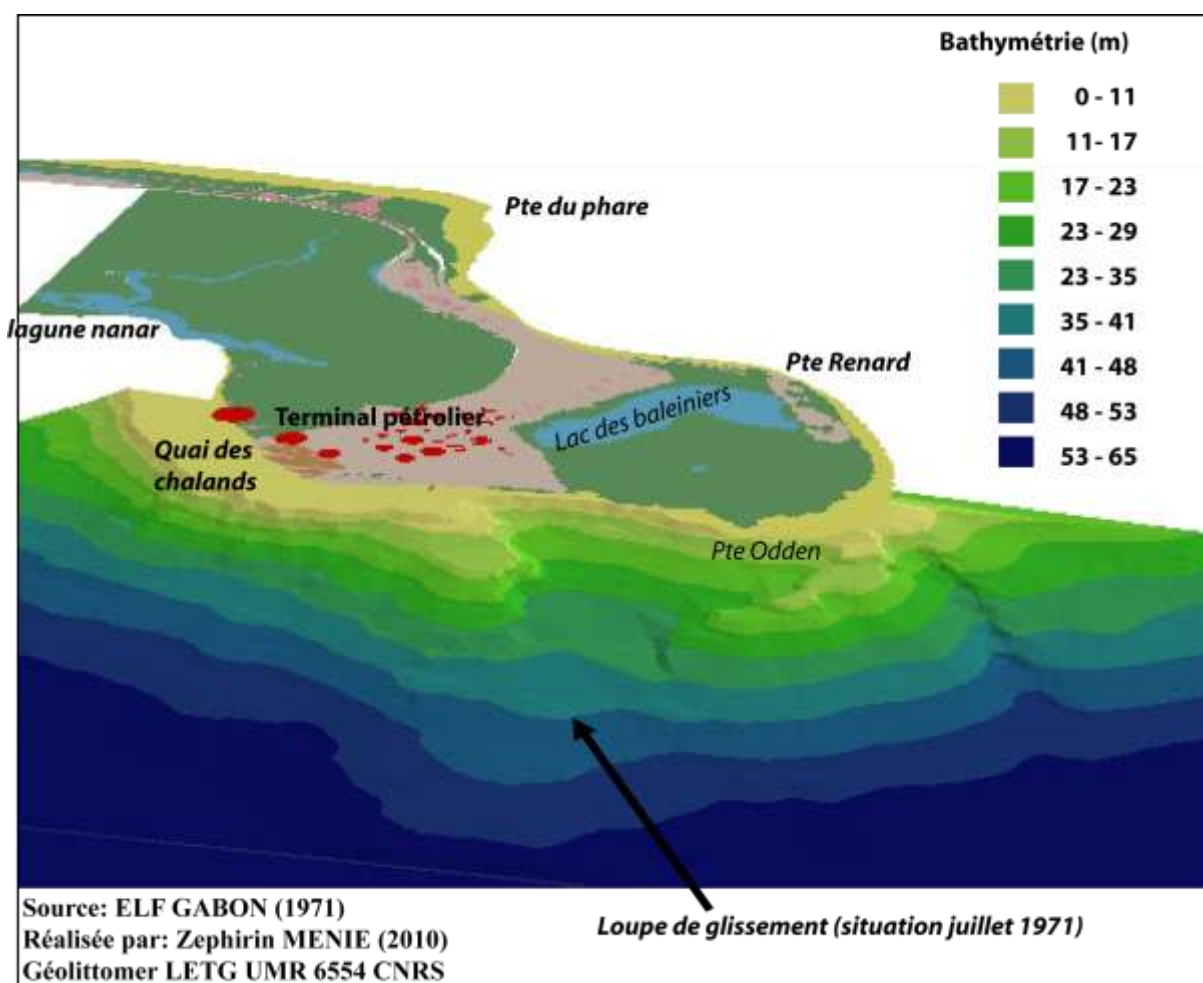


Figure 28 : MNT de la pointe Odden (situation de juillet 1971)

Cette partie du littoral se distingue par une alternance de progradation de la côte, suivie de glissements de grande envergure une fois que la sédimentation de la plage a atteint un seuil critique. Les glissements sont estimés entre 200 000 m³ à 500 000 m³ de sédiments.

Baie du prince-Baie de Port-Gentil (unité 3) (fig.29)

On observe une bathymétrie à pente variable qui croît de la baie d'*Endougou* vers la baie du Prince. Cette partie de la baie du Cap Lopez est le siège d'une forte sédimentation liée au contexte naturel du milieu.

Les principaux distributeurs du delta actif se jettent dans cette région (la rivière *Endougou*, la rivière *Animba*).

La baie constitue un point de neutralisation entre les forces marines et fluviales à tel point qu'il se crée une zone d'accalmie favorable à la sédimentation.

La flèche Mandji représente une barrière naturelle contre les houles SW à l'origine des déplacements des sédiments et de leur cantonnement le long du littoral. Cette situation est

davantage renforcée par des nombreux cordons de sables disposés parallèlement au trait de côte qui freinent à plusieurs endroits l'énergie des agents marins.

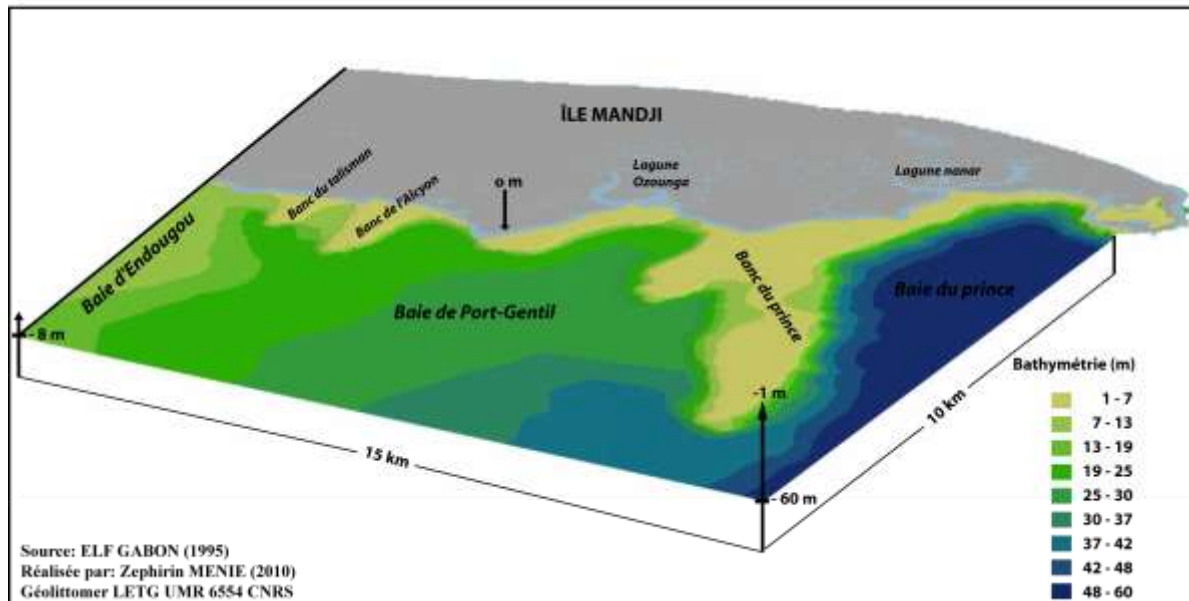


Figure 29 : Représentation en 3D de la baie de Port-Gentil

La somme de ces facteurs favorise la prédominance des actions fluviales au détriment des forces marines. Cette situation nous permet de dire sans exagération aucune que la troisième étape de croissance du delta s'amorce dans cette zone.

g) Synthèse du contexte géomorphologique

L'état de lieu du contexte physique de la flèche permet de mettre en évidence les diverses contraintes susceptibles d'influencer la dynamique du littoral. Cette présentation préliminaire facilite l'élaboration de la stratégie d'investigation, l'établissement des liens entre les facteurs physiques étudiés et l'analyse multicritère afin d'apporter des réponses à notre problématique.

1.2.2- Urbanisation et artificialisation du trait de côte

L'étude de l'urbanisation établit la contribution de l'homme dans la dynamique actuelle du trait de côte. Cette anthropisation de la flèche est entretenue par les unités d'exploitation pétrolière, les ports, les habitations et les ouvrages de protection côtière.

a) Cap Lopez

C'est l'extrémité Nord de la flèche (photo 3). La morphologie en crochet témoigne de la dernière phase de croissance de ce poulcier. Le Cap Lopez porte le nom du navigateur portugais Lopo Gonçalves qui découvrit le site entre 1471 et 1475.



Photo 3 : Vue aérienne du Cap Lopez (Total Gabon, 2005)

L'espace est occupé par des petits pêcheurs locaux et l'activité économique principale est centrée sur l'exploitation du pétrole. L'installation du terminal pétrolier remonte à 1957 lors de la découverte des gisements pétroliers dans les eaux côtières (Ozouri, et Clairette). Depuis plusieurs années d'exploitation, on a assisté à une extension du site et de sa capacité de stockage en hydrocarbures qui est passée de 30 000 m³ à 650 000 m³.

Le choix du site du Cap Lopez pour l'implantation d'un terminal pétrolier a été motivé par les nombreux avantages qu'offre l'environnement physique. Il s'agit entre autres de :

- l'accès facile en eaux profondes ($\approx 25\text{-}30$ m de fond à 200 m du bord) pour les pétroliers,
- La situation en abris de la baie du Prince par rapport aux houles de direction SW et W,
- Le lac des baleiniers de faible salinité constitue une réserve d'eau douce pour un usage industriel et en cas d'incendie,
- enfin son éloignement de la ville de Port-Gentil (≈ 15 km à vol d'oiseau) pour les pollutions sonores, olfactives ou visuelles.

Le Cap Lopez est considéré comme une zone stratégique pour l'économie du Gabon et un espace sensible du point de vue environnementale. Son sol est truffé de pipelines qui le relie à la raffinerie de Port-Gentil et aux différents champs pétroliers tant en « onshore » qu'en « offshore ».

b) La ville de Port-Gentil

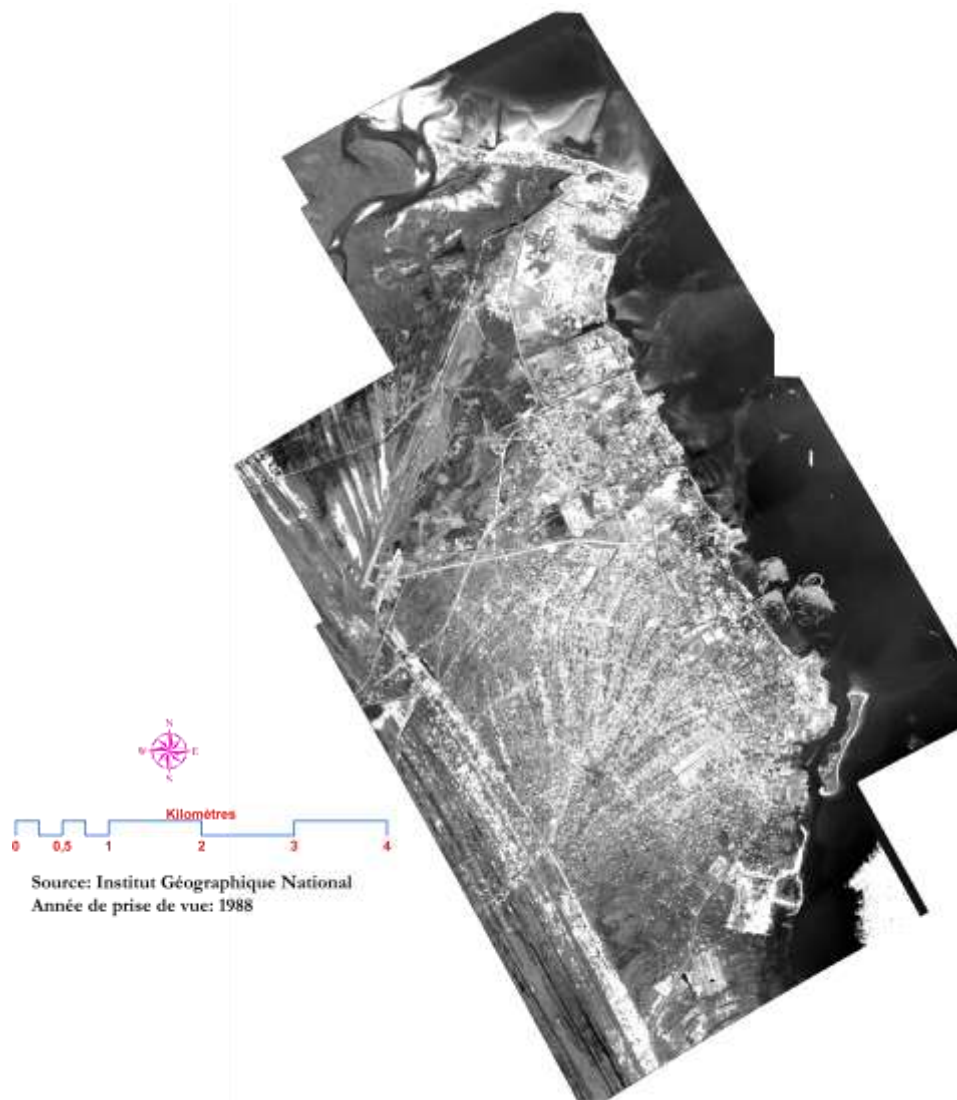


Photo 4 : Orthophotoplan de Port-Gentil (IGN, 1988)

Capitale économique du Gabon, Port-Gentil est la deuxième grande ville du pays tant sur le plan spatial que démographique (150 000 habitants). Elle présente les caractéristiques d'une ville industrielle, dont le mode de peuplement a été principalement guidé par des mobiles économiques. Elle doit son essor à l'exportation du bois et du pétrole, ce qui fait d'elle le poumon économique du Gabon.

Le quartier « littoral », longeant la baie de Port-Gentil héberge l'ensemble des activités administratives, commerciales et industrielles. L'habitat résidentiel se situe dans cette partie où réside moins de 15% de la population urbaine (9 habitants/ha).

La partie centrale est occupée par des quartiers non structurés où habitent les $\frac{3}{4}$ de la population urbaine (fig.30).

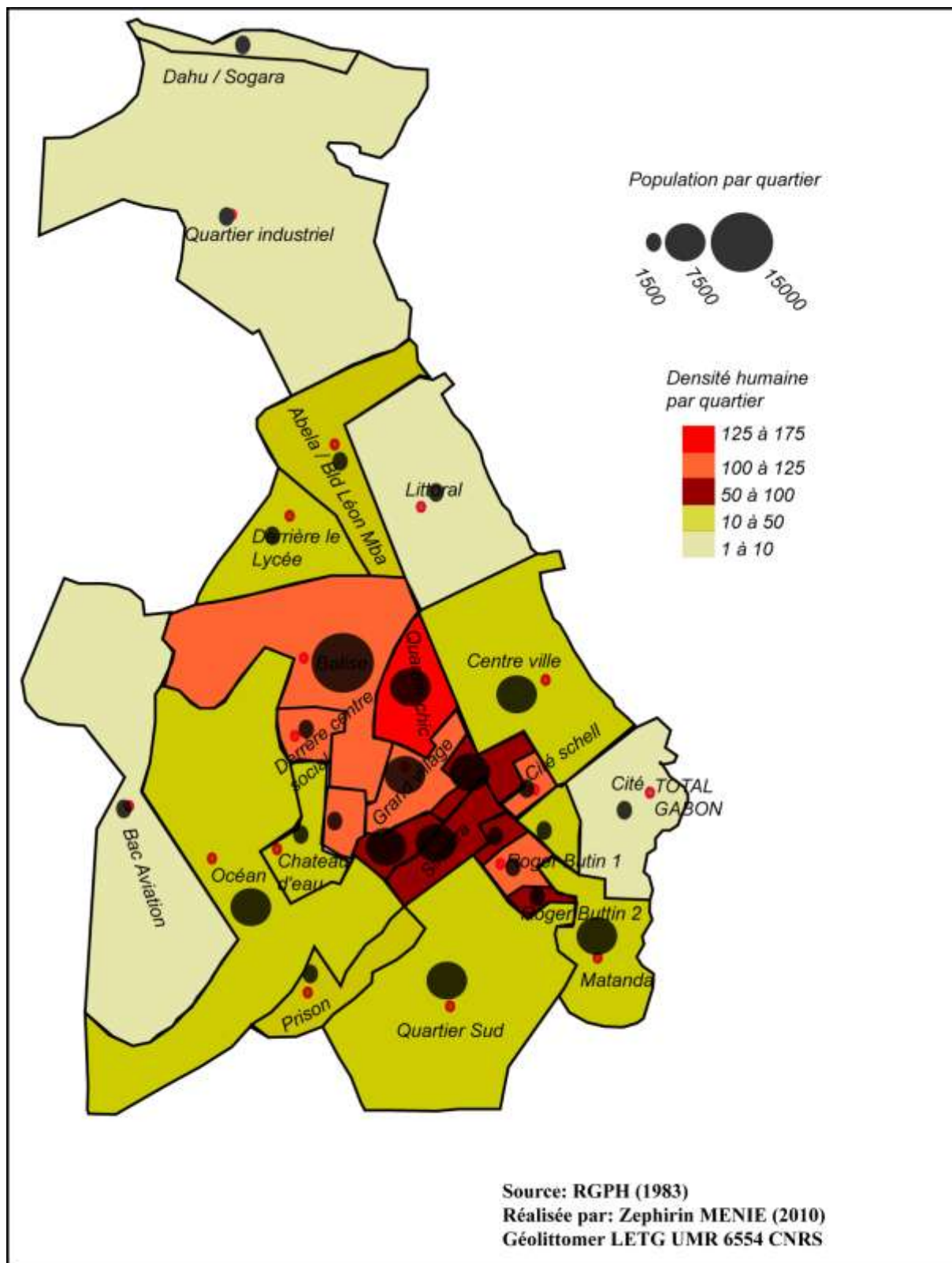


Figure 30 : Répartition de la population par quartier à Port-Gentil (modifiée)

L'extension de la ville se fait autour des quartiers périphériques. Elle génère des occupations anarchiques qui ne tiennent pas compte du plan cadastral et du plan d'occupation du sol établis, exemple le quartier « Bac Aviation ».

Port-Gentil à l'instar des autres villes côtières connaîtra une croissance rapide à la suite du boom pétrolier des années 70. En prévision d'une extension éparpillée de l'espace urbain, les autorités municipales mettent en place en août 1978, un plan d'aménagement urbain dit plan « philippins » du nom de ces réalisateurs. Il se compose d'un plan d'occupation du sol, d'un plan cadastral, d'un texte réglementaire et d'une proposition de suivi du plan jusqu'à l'an 2050. Très tôt, son application sera vouée à l'échec et ouvrira la porte à l'occupation anarchique actuelle.

Les aménagements effectués lors de cette urbanisation ont un impact sur le transit littoral et de facto sur la dynamique naturelle des plages.

Chapitre 2 : FORCAGES ACTUELS EXPLICATIFS DE LA CINÉMATIQUE DU TRAIT DE CÔTE

INTRODUCTION	67
2.1-LES AGENTS DE LA DYNAMIQUE LITTORALE	68
2.1.1-Les données de vents dans la région de Port-Gentil	69
2.1.2-La marée et les courants de marée.....	70
2.1.3-Les houles	71
2.1.4-Courants de surface.....	77
2.2- LES CELLULES HYDROSEDIMENTAIRES	78
2.2.1 Côte Ouest.....	80
2.2.2-Côte Est	80
2.3-EMPRISE HUMAINE ET MODIFICATION DU TRAIT DE COTE	81
2.3.1-Intervention de l'homme dans le secteur du Cap Lopez.....	81
2.3.2-Forage des puits de pétrole.....	83
2.3.3-Emprise des actions anthropiques sur le front de mer de Port-Gentil.....	83
2.3.4-L'extraction du sable de plage	88
2.3.5-La construction des barrages hydroélectriques et les projets en cours de réalisation dans le bassin de l'Ogooué	89
2.4-CONCLUSION PARTIELLE	90

INTRODUCTION

La reconstitution paléogéographique effectuée en chapitre 1 témoigne à suffisance d'un milieu en perpétuel mutation depuis les temps géologiques. L'évolution contemporaine de la flèche littorale se matérialise par une érosion ou par un engraissement de la côte. Jusque-là les seuls responsables désignés de cette dynamique sont les variations eustatiques en lien avec les changements climatiques. Cependant, la présentation du contexte physique et humain actuel, révèle des contraintes nouvelles susceptibles de participer à l'évolution de la flèche Mandji.

Une telle convergence de facteurs dans un espace aussi restreint, le rend vulnérable à certains aléas côtiers. Le Cap Lopez constitue donc un exemple d'espace à fortes contraintes où s'interagissent les actions humaines et les forçages naturels (fig.31).

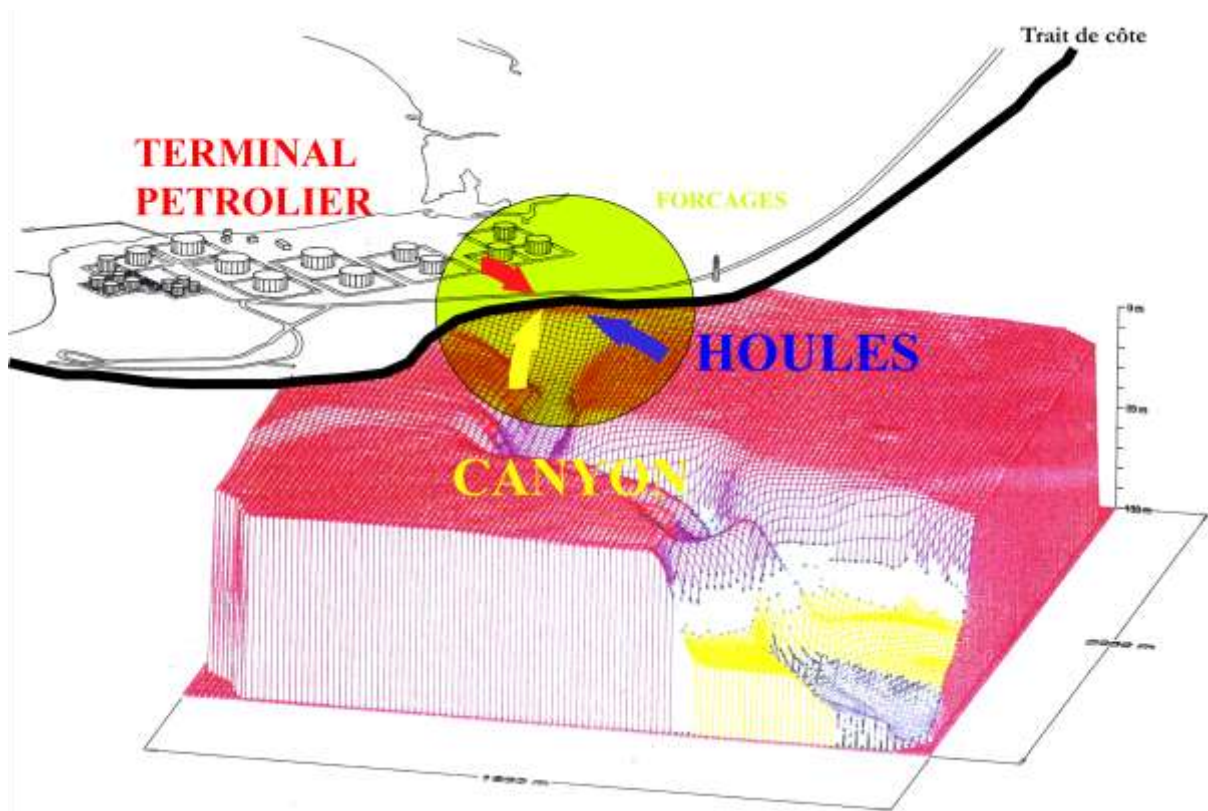


Figure 31 : Forçages en jeu dans la dynamique du trait de côte

Il est question dans ce chapitre, d'une de part, de faire un inventaire des facteurs intervenant dans la mobilité du trait de côte, d'autre part de les décrire.

2.1-LES AGENTS DE LA DYNAMIQUE LITTORALE

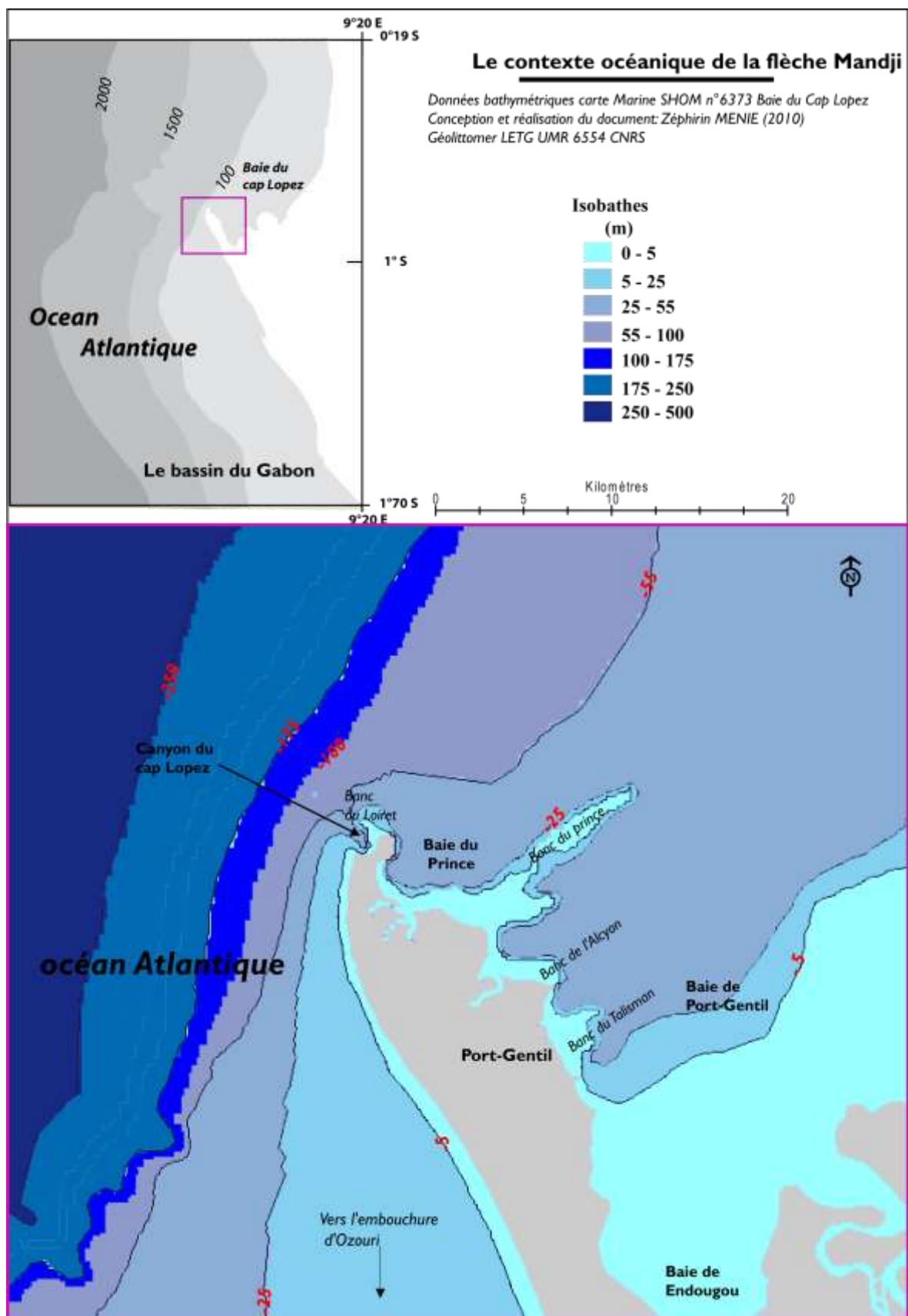


Figure 32 : Contexte océanique actuelle et localisation du secteur d'étude

Le contexte actuel de la zone d'étude (fig.32) est sous le contrôle de divers forçages naturels qui conditionnent les faciès morphologiques du plancher océanique et déterminent par conséquent son évolution. Les principaux éléments régulateurs de cette dynamique sont présentés dans ce chapitre. Il s'agit entre autre de la houle, du vent, de la marée et des courants marins (fig.33).

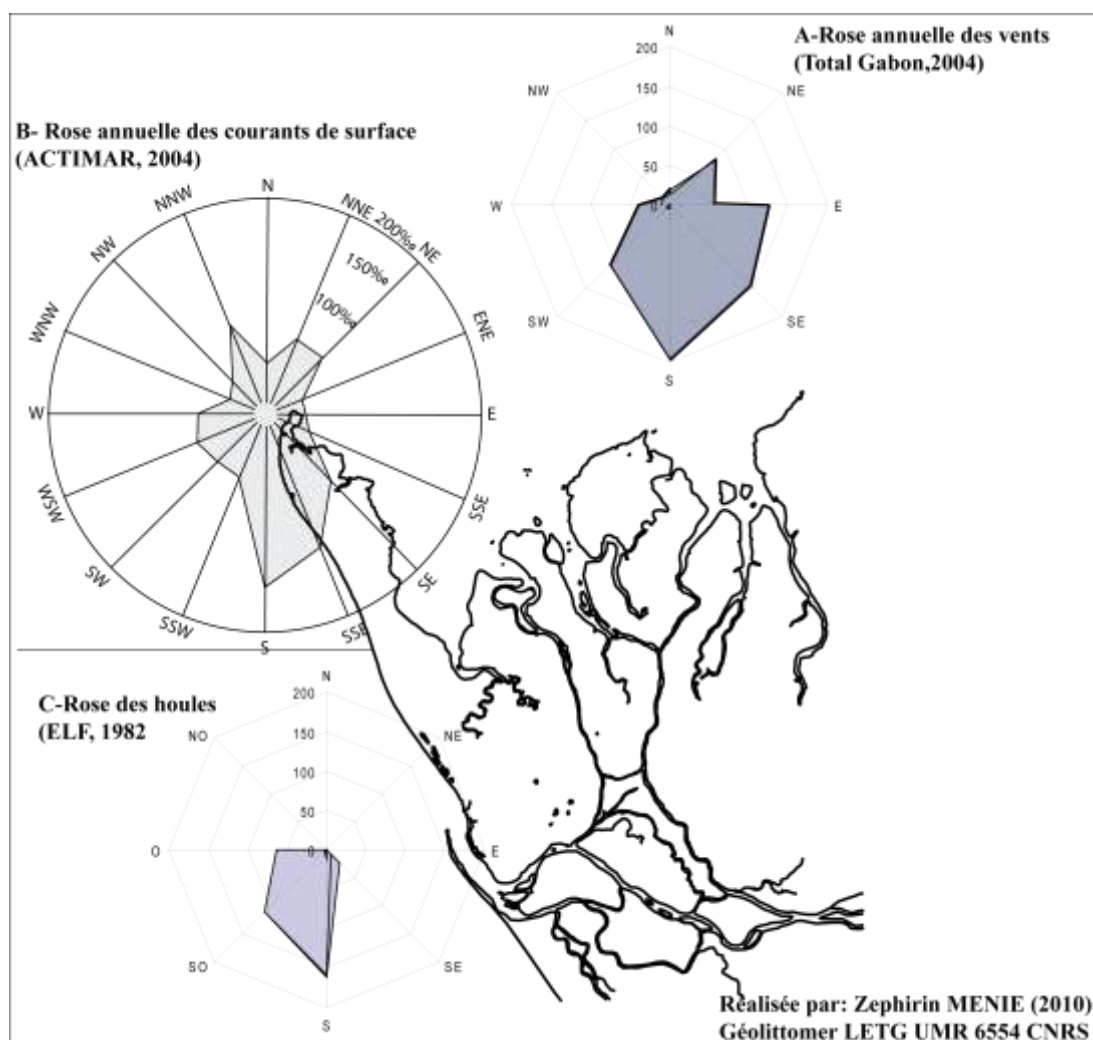
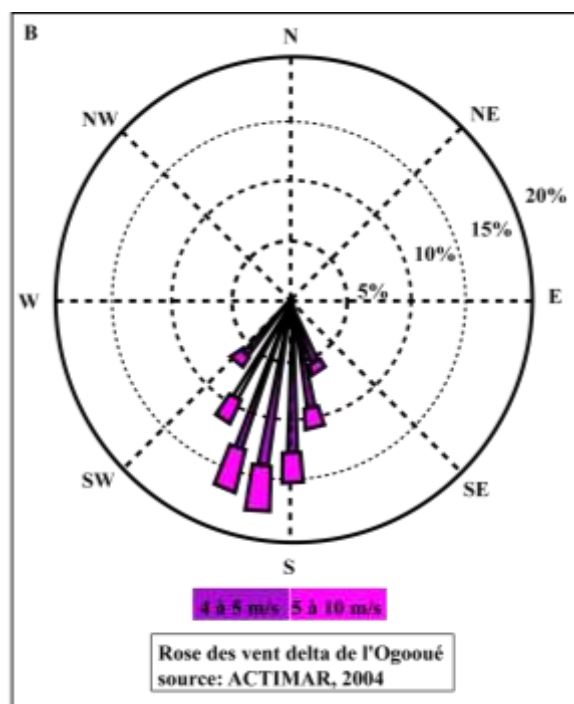


Figure 33 : Conditions de forçages météo-marins de la flèche Mandji

2.1.1-Les données de vents dans la région de Port-Gentil

L'analyse statistique est faite à partir d'une série de mesures effectuées entre 1985 et 1999 qui proviennent, d'une part, de la Direction des Activités Pétrolières de Total Gabon (fig.33), et d'autre part, du rapport ACTIMAR¹⁴ (2004) (Graph.5).

¹⁴ ACTIMAR : Analyse et modélisation numérique des états de mer, du vent, de la marée et des courants marins. Réalisation et mise en œuvre de systèmes opérationnels d'analyse et de prévision de l'environnement océanique. Conception et mise en œuvre d'outils de télédétection haute résolution, société basée à Brest.



Graphique 5 : Rose des vents delta de l'Ogooué

Les vents les plus fréquents proviennent du Sud et les plus violents du secteur Sud à Sud-ouest. Précisons qu'il s'agit là des vents réguliers, à l'exclusion des grains qui peuvent être violents mais de courte durée. On enregistre pendant l'été des vents de force 7 suivant l'échelle de Beaufort (environ 54 km/h).

2.1.2-La marée et les courants de marée

Ils exercent une double influence sur la morphologie des plages. Là où ils sont sensibles, l'estran qu'ils découvrent, est façonné en permanence. Dans les zones abritées, les courants de marée entraînent le matériel, le dispersent ou le concentrent et permettent la sédimentation (Miossec, 2004). La prise en compte de ces caractéristiques dans l'analyse de la morphodynamique des plages est donc fondamentale.

Le zéro hydrographique commun aux cartes marines et annuaires de marées dans la région de Port-Gentil est défini par rapport au niveau repère + 0,34 m.

Les cartes marines du SHOM indiquent que les marées sont de type semi-diurne avec un marnage compris entre 0,75 m et 1,55 m. Le flot de direction Nord l'emporte sur le jusant.

Les caractéristiques de la dynamique des hauteurs d'eau pour une durée de 48 heures dans les eaux océaniques de la baie du Cap Lopez sont représentées en figure 35. Les cotes correspondent

aux marées moyennes de vive-eau (coefficient 95) et de morte eau (coefficient 45), on déduit les cotes extrêmes pour la marée de coefficient 120 : BM à +0,1 et +2,4; soit pour simplifier 0 et 2,5.

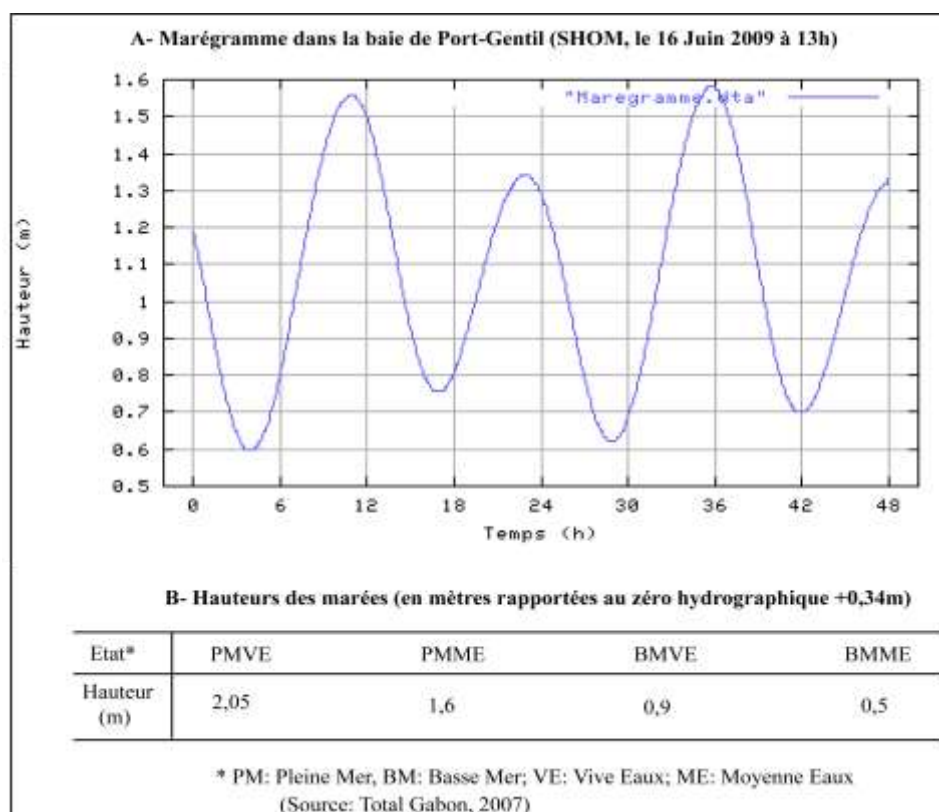


Figure 34 : Caractéristiques de la marée dans la baie du Cap Lopez

L'influence des courants de marée sur la flèche littorale se matérialise par l'inondation des vasières du Cap Lopez et de N'tchengué pendant le flot. Ces régions qui subissent régulièrement la double influence des eaux continentales et les eaux salées de l'océan atlantique constituent une zone humide, composée de mangroves et de tannes.

Pendant la durée du flot, le courant de marée provoque l'élévation du niveau d'eau dans les canalisations d'évacuation des eaux usées de la ville de Port-Gentil. Cette élévation est aussi renforcée par les eaux de ruissellement pendant la saison des pluies qui occasionnent des inondations dans les quartiers non assainis.

2.1.3-Les houles

D'après les instructions nautiques du SHOM (1980), le régime des houles est influencé par la présence persistante de l'anticyclone de Sainte-Hélène. La circulation des vents dans le sens inverse des aiguilles d'une montre autour de cet anticyclone entretient des houles longues et

régulières qui se propagent du Sud vers le Nord et atteignent la côte de la côte avec une direction principale SW-NE (Total Gabon, 2007).

Sur la côte du Golfe de Guinée, Guilcher (1985) détermine deux domaines de houles ayant des directions de provenance opposées (fig.35). Il s'agit d'une part des houles NW d'origine boréale, et d'autre part, les houles SW ou SSW d'origine australe.

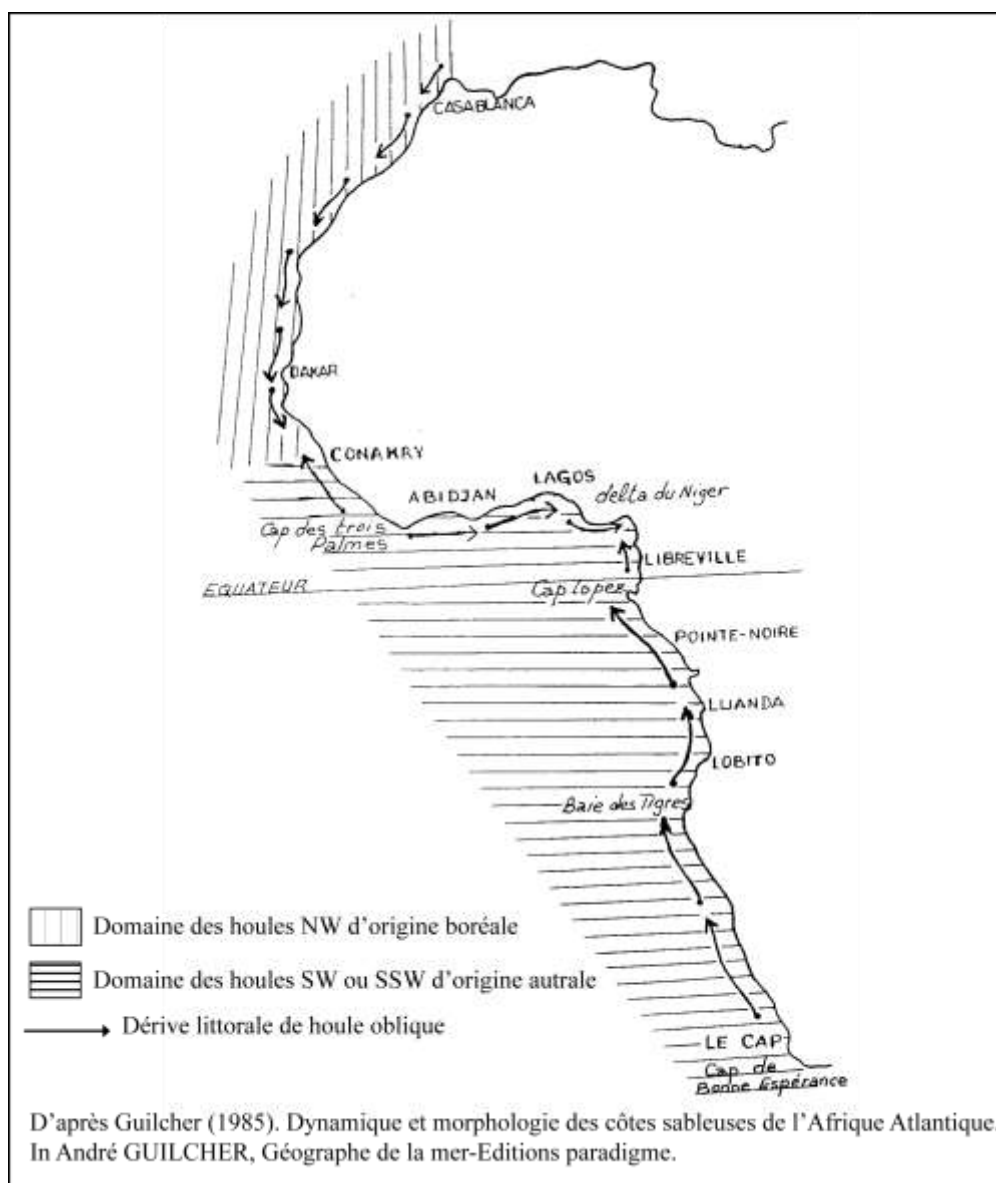


Figure 35: Les domaines de houle à l'échelle du golfe de Guinée par Guilcher (1985)

Au niveau du Gabon, ces houles ont une origine lointaine et leurs caractéristiques varient suivant les saisons australes : houles « fortes » et de longues période, de fin mars à fin septembre avec un maximum en juin-juillet, et les houles « faibles », de courte période d'octobre à mars avec un maximum en décembre (Elf Gabon, 1982; SHOM, 1980).

Une corrélation est faite entre les deux saisons et les périodes habituelles d'évolution du Cap Lopez. Il en résulte un engraissement d'octobre à février (saison humide), une érosion d'avril à août (période de la saison sèche).

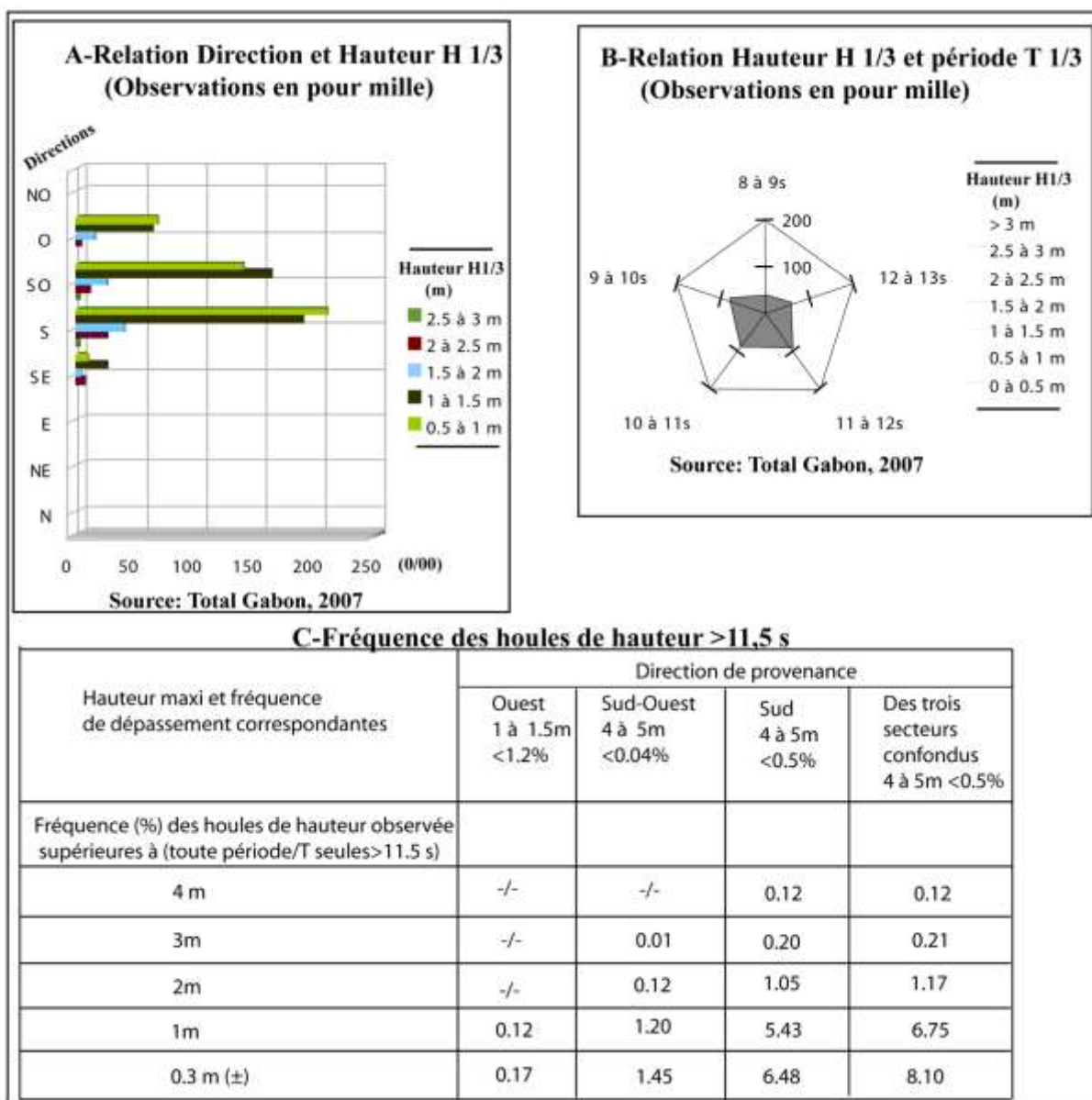


Figure 36 : Statistiques des paramètres de houle dans le secteur du Cap Lopez (A- relation direction et hauteur 1/3 ; B-relation hauteur H1/3 et la période T1/3 ; C-répartition mensuelle en fréquence par rapport à la direction de provenance des houles).

L'analyse statistique détaillée des conditions de houles (fig.36), permet de tirer les enseignements suivants :

D'après la figure 36 (A et B) :

- Plus de 80 % du temps, les houles proviennent des secteurs Sud et Sud-ouest,
- 50 % du temps, la houle provient du seul secteur Sud,

- Près de 45 % du temps, la houle provient des secteurs Sud et Sud-ouest et dépasse 1 m de hauteur au large,
- Près de 25% du temps, la houle provient du seul secteur Sud et dépasse 1 m de hauteur au large,
- Presque 50% du temps, les périodes sont supérieures à 10 secondes.

D'après la figure 36 (B) :

- Près de 90% du temps, les houles proviennent des secteurs Sud et Sud-ouest,
- Près de 70% du temps, la houle provient du seul secteur Sud,
- Près de 60% du temps, la houle provient des secteurs Sud et Sud-ouest, et dépasse 1 m de hauteur au large,
- Près de 50% du temps, la houle provient du seul secteur Sud et dépasse 1 m de hauteur au large,
- Presque systématiquement, 10% de ces fréquences catégorielles (direction /hauteur) concerneraient les houles de périodes longues ($>$ ou $= 11,5$ s).

Il s'avère donc que le régime des houles est régulier en direction, modéré en énergie et relativement riche en houles longues.

Du fait de l'orientation générale de la flèche sableuse et de l'architecture des fonds d'approche devant le littoral considéré, ces caractéristiques directionnelles et de longueur d'onde, contribuent singulièrement à un intense transport littoral orienté du Sud vers le Nord et à une érosion présente sur l'ensemble de la côte.

La caractéristique de la houle varie selon qu'on se situe en situation d'exposition (réfraction) sur la façade Ouest atlantique de la flèche ou en situation protégée (diffraction) dans la baie du Cap Lopez.

a) Les houles de provenance Sud

Les paramètres physiques de la flèche (50 km de longueur pour 5 km de largeur en moyenne ; orientation NW-SE) constituent un obstacle pour la propagation des houles du Sud vers le Nord et modifient de fait leur intensité à l'approche de la côte.

Entre l'embouchure d'Ozouri et le terrain de golf de Port-Gentil, la houle est réfractée et au-delà du phare du Cap Lopez, elle est diffractée (fig.37).

Ces houles de provenance Sud n'influencent que très peu la dynamique sédimentaire dans le secteur de la baie du Cap Lopez et par conséquent ne contribuent pas à la mobilité du trait de côte (hauteur maximale de la houle ne dépasse pas 0,2 m). Elles sont fortement diffractées.

Le secteur réfléchissant (Ozouri – Golf) subit de plein fouet l’assaut des houles et c’est d’autant plus amplifié par la présence d’une bathymétrie régulière. Ces houles sont déterminantes dans le processus du recul côtier résultant de l’érosion marine active.

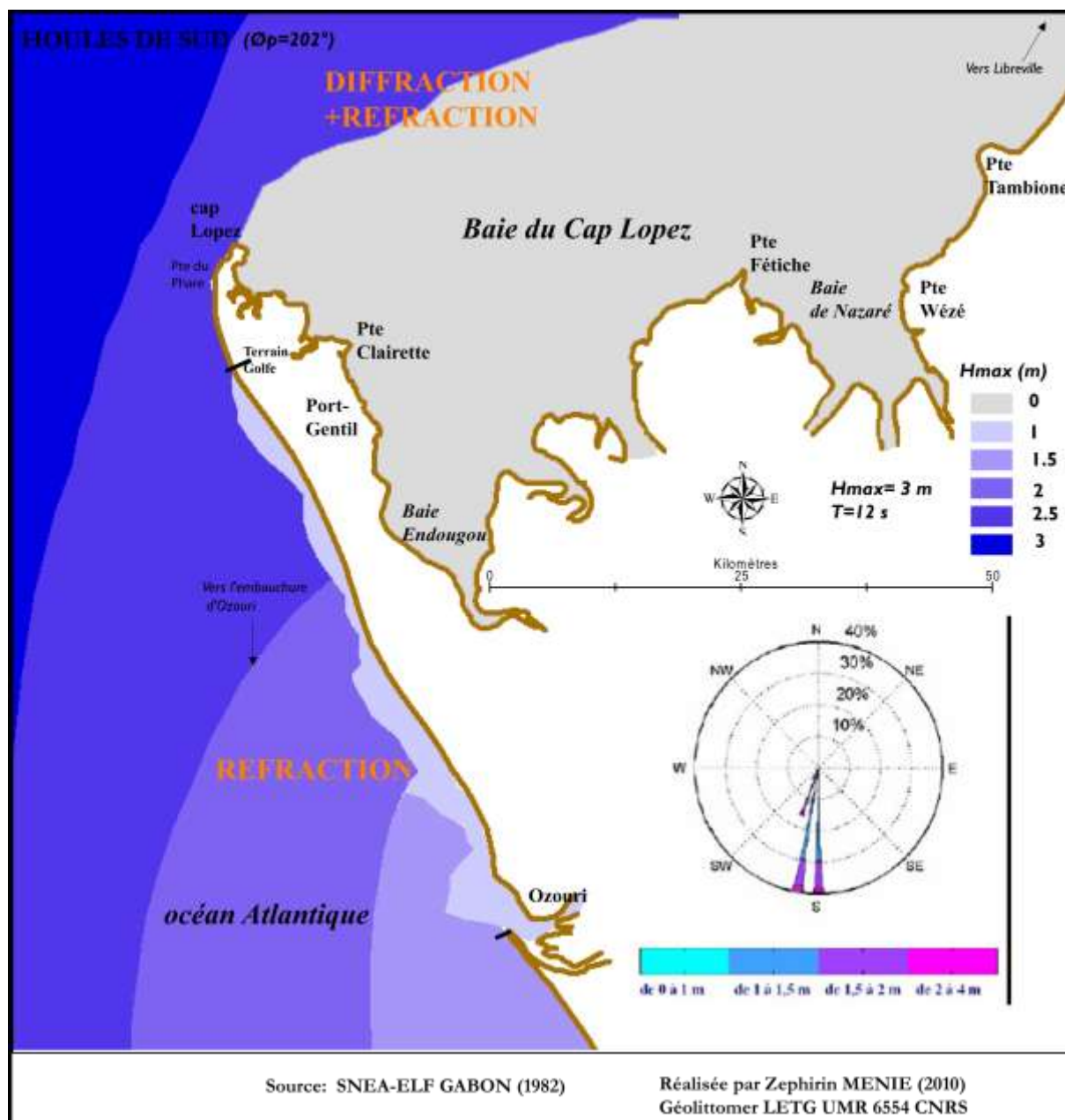


Figure 37 : Houles de secteur Sud de période 12 s (SNEA-ELF GABON)

b) Les houles de provenance Sud-ouest

Elles touchent particulièrement le crochet terminal de la flèche Mandji et la baie du Prince (fig.38). A l’approche de la pointe Renard, ces houles sont déviées vers la baie du Prince. Leur influence dans le secteur [Ozouri - Cap Lopez] est quasi similaire à celle des houles de provenance Sud. La forme en crochet orientée vers l’Est de l’unité terminale de la flèche retrouve

là son origine. Ces houles sont à l'origine de nombreuses pointes que l'on observe le long de la façade Est de la flèche Mandji.

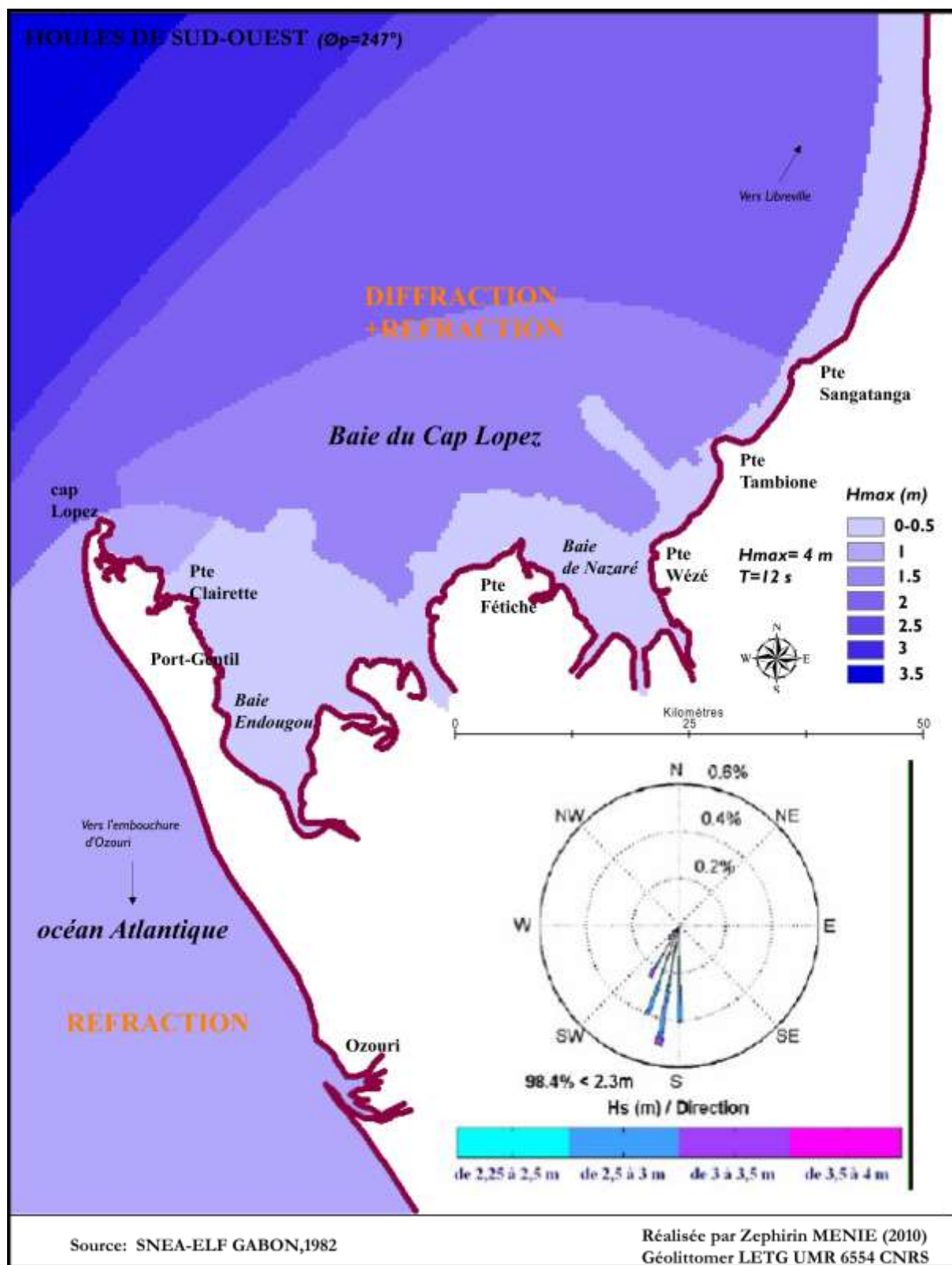


Figure 38 : Houles de secteur Sud-ouest et de période 12 s dans la baie du Prince

2.1.4-Courants de surface

Trois types de courants affectent principalement le plateau continental: les courants de marées et les courants de circulation générale (Bonifay, 1987).

Merle (1972), puis Giresse (1978), ont montré que l'interaction des différents courants (propriétés physiques et chimiques différentes) a une incidence majeure sur la vie pélagique et sur la dynamique sédimentaire de la flèche.

Suivant les variations hydrologiques annuelles, il est observé deux incursions des eaux guinéennes vers le Sud et deux incursions des eaux du courant de Benguela vers le Nord (Bonifay, 1987) (fig.39)

Les instructions nautiques du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) mentionnent une vitesse de 0,5 nœud vers le N-NE au large, et des vitesses plus élevées près de la côte (0,8 nœud environ). Il est également cité que ces courants peuvent être modifiés lors des crues de l'*Ogooué* (éventuellement du *Zaïre* un peu plus au Sud) et lors des vents de secteur Nord (rares).

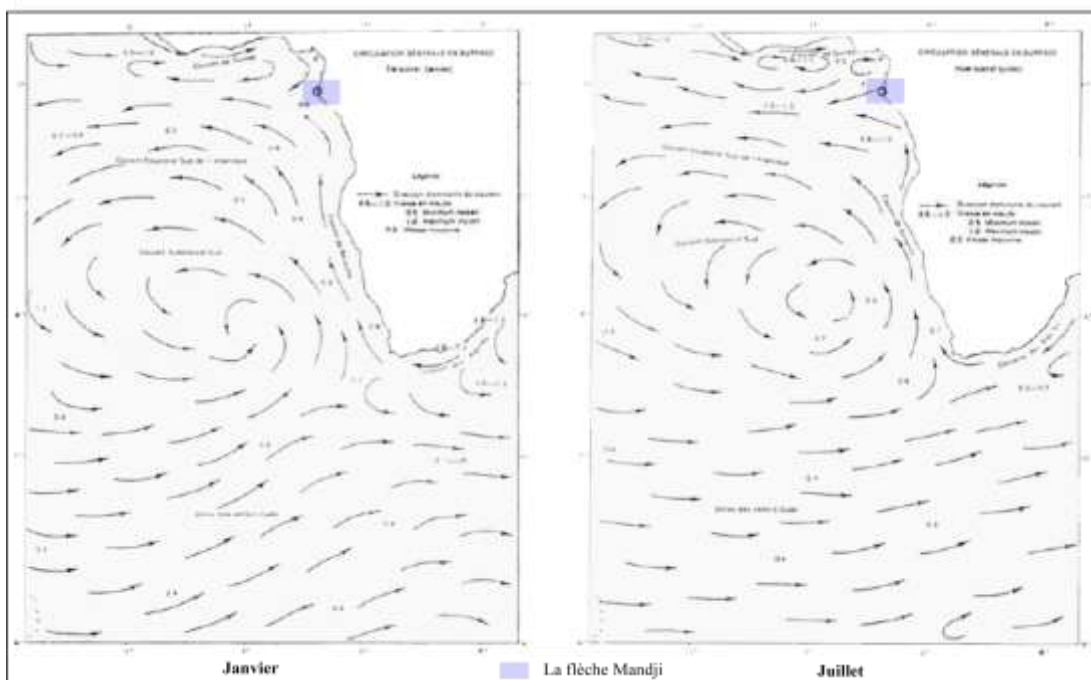


Figure 39 : Circulation générale des courants de surface dans le golfe de Guinée (SHOM, 1980 : en janvier et en juillet)

Entre le Cap Lopez et le fleuve *Congo*, le courant porte généralement au NW ou au NNW, et sa vitesse atteint parfois 2 nœuds. Le courant NNW est plus rapide au voisinage des côtes qu'au large. La vitesse du courant varie selon la présence des vents de provenance SE qui deviennent

prépondérants proche du littoral, occasionnant des renverses des sens de déplacement des courants.

Le Cap Lopez (fig.39) se trouve à la rencontre de ce courant, régnant au Sud et portant vers le NNW, dit courant de Benguela, et de la cellule de circulation des courants de Guinée présent au Nord. Cette confluence occasionne la formation d'une zone frontale séparant deux masses d'eaux aux caractéristiques hydrologiques très différentes.

En somme, la convergence de ces facteurs précités témoigne de la morphodynamique actuelle de la flèche littorale. La provenance principale Sud des forçages expliquent bien l'extension importante de la flèche par rapport à l'ensemble de la côte du Golfe de Guinée.

2.2- LES CELLULES HYDROSEDIMENTAIRES

Le concept de cellules hydrosédimentaires hérité des travaux de May et Tanner (1973) est axé sur une prise en compte de l'énergie des houles le long du rivage. Les mêmes auteurs, conçoivent la cellule hydrosédimentaire comme étant une succession de trois unités distinctes, caractérisées chacune par un bilan sédimentaire spécifique : unité 1 (érosion) - unité 2 (équilibre) - unité 3 (engraissement). La limite de la cellule correspondrait à la rupture du sens de déplacement du transit littoral qui est parfois difficile à identifier sur des cellules non linéaires.

Les travaux de Bray et al. (1995), sur la typologie des limites de cellules hydrosédimentaires nous serviront d'appui au découpage de la flèche Mandji. Les auteurs distinguent les limites fixes et les limites mobiles. Les critères morphologiques et météo-marins sont ici pris en compte. Ils sont présentés dans l'arborescence ci-dessous (fig. 40).

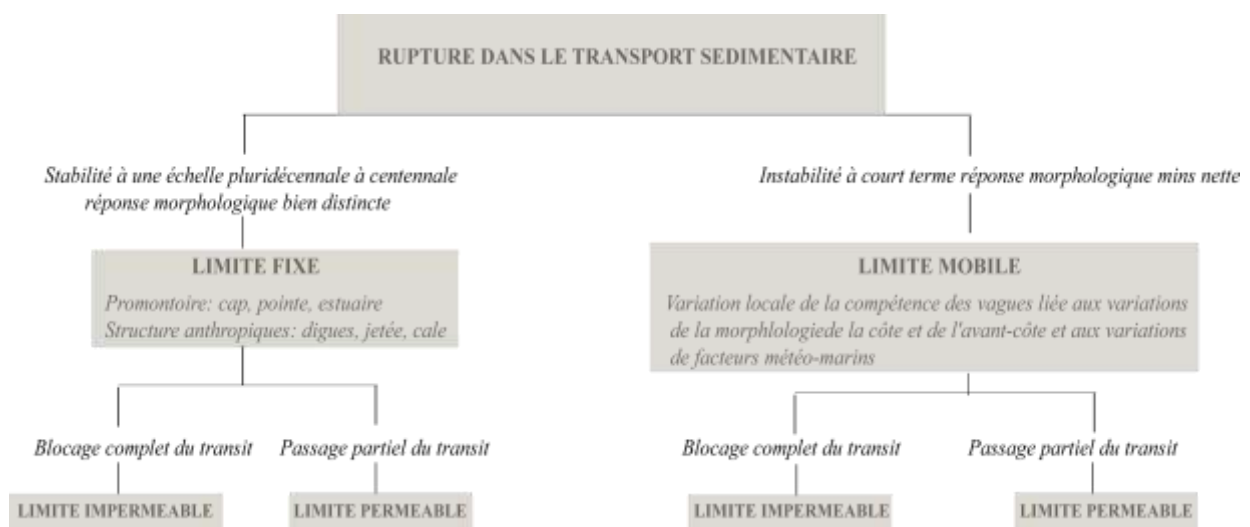


Figure 40 : Typologie des cellules hydrosédimentaires (Bray et al., 1995 ; Dolique, 1998 ; Stephan, 2009)

Dans le contexte de la flèche Mandji en s'inspirant des travaux sus cités, on aboutit à un découpage en 13 cellules hydro-sédimentaires (fig.41) réparties dans 7 compartiments. Chaque unité hydro-sédimentaire se définit par:

- Ses limites : fixes (cap, bouche de lagune, pointe, canyon sous-marin, digues et perrés), mais aussi évolutives (dune meuble, limites des actions des houles, point d'inversion de la dérive littorale).
- Et à sa stabilité : celle-ci se mesure aux frontières de l'unité par le bilan sédimentaire entrée/sortie et par les actions avec l'environnement (cf. chap.3)

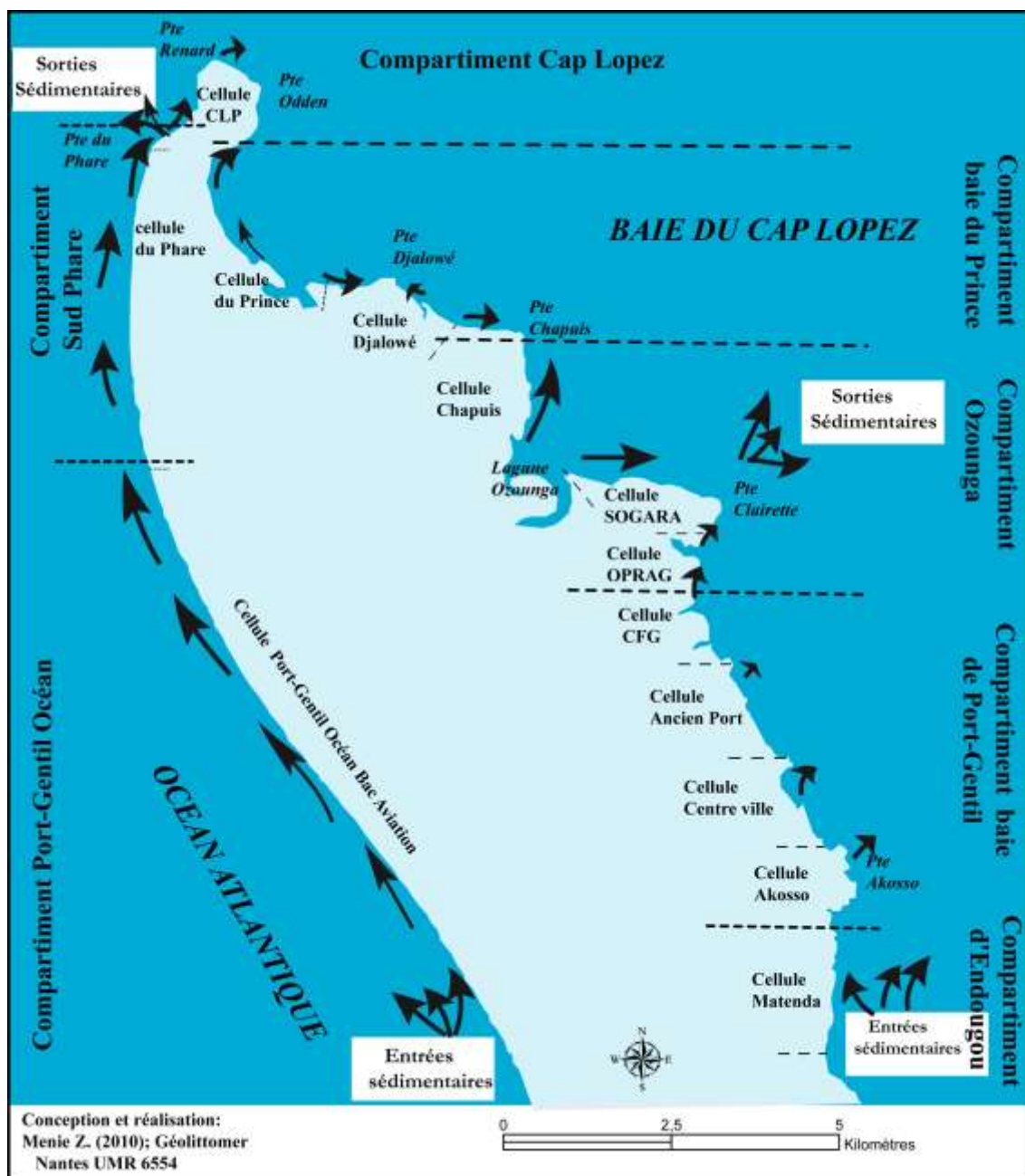


Figure 41 : Délimitation des cellules hydrosédimentaires sur le littoral de Mandji

2.2.1 Côte Ouest

Elle est caractérisée par trois compartiments marqués par un transit sédimentaire unidirectionnel du Sud vers le Nord et entretenue par les houles SW (fig.41). Ces compartiments se définissent par les critères suivants :

Port-Gentil Océan : ses frontières mobiles sont ouvertes aux deux extrémités avec une entrée sédimentaire en provenance de l'embouchure d'Ozouri et une sortie au Sud du Phare. Cette cellule est marquée par une stabilité relative marquée par une perte sédimentaire en entrée (érosion côte PG2, cf. fig.54) au détriment d'un engraissement à sa sortie (plage Bac Aviation).

Sud phare : elle se caractérise par un changement d'orientation du linéaire côtier qui s'incurve en direction de la baie du Prince. La limite Sud est perméable tandis que la frontière Nord est fixe et partiellement perméable. La présence des brises lames et du canyon sous-marins modifie le bilan global du transit sédimentaire qui se solde à la sortie de la cellule par une perte sédimentaire considérable.

Cap Lopez : ce compartiment constitue l'exutoire final du transit littoral, c'est une limite fixe imperméable car le maximum du transit sédimentaire converge en ce point. Une partie des sédiments contribue à l'engraissement de la cellule et l'autre partie se dépose dans les fonds marins environnants. Le bilan sédimentaire est positif et se matérialise par une extension vers le large de cette unité sédimentaire de la flèche.

2.2.2-Côte Est

Elle se caractérise par la présence de 4 compartiments. Une dizaine de cellules de circulations secondaires ont été identifiées (fig.41) et sont alimentées par deux sources d'entrées sédimentaires : les bouches de lagunes et les exutoires Nord du delta de l'Ogooné.

Compartiment de la baie du prince héberge deux cellules hydro-sédimentaires : la cellule du Prince et la cellule Djalowé. La première est marquée par une inversion du sens de la dérive littorale au niveau de la passe d'entrée de la lagune Nanar et la seconde par une convergence vers la pointe Djalowé. Les limites sont fixes et imperméables avec une sortie sédimentaire vers la baie.

Compartiment Ozounga est composé par trois cellules aux frontières fixes, imperméables et réparties le long du linéaire côtier qui s'étend de la pointe Chapuis jusqu'à la pointe Clairette. Ces cellules connaissent des inversions de sens de la dérive littorale. La bouche de la lagune Ozounga constitue l'entrée sédimentaire principale qui alimente les trois cellules et la sortie sédimentaire se fait vers la baie au niveau des pointes. Exceptionnellement, la cellule OPRAG est alimentée par les sédiments tractés par le canal de Port-Gentil et la sortie sédimentaire est régulée par le curage fréquent du port et par une dérive orientée vers la pointe Clairette.

Compartiments baie de Port-Gentil est caractérisé par 4 cellules sédimentaires. Les frontières de ces cellules sont fixes (épis, môles) et probablement perméables mais avec des échanges sableux relativement restreints à l'exception de la cellule Akosso dont la frontière Sud est ouverte avec une alimentation sédimentaire en provenance de la cellule de Matenda au Sud. Le bilan sédimentaire est à l'accrétion vers la baie.

Compartiment d'Endougou est l'entrée sédimentaire alimentée par la rivière *Endougou*. Le transit sédimentaire est orienté du Sud vers le Nord de la flèche.

2.3-EMPRISE HUMAINE ET MODIFICATION DU TRAIT DE CÔTE

Les forçages naturels précédemment étudiés ne peuvent en aucun cas être tenus pour seuls responsables de la mobilité du trait de côte. L'homme, à travers de multiples usages et occupations de l'espace côtier contribue de manière directe ou indirecte à son évolution.

Les activités humaines peuvent perturber la disposition naturelle de ces côtes en déséquilibrant les flux sédimentaires d'origine marine ou tellurique. La construction des barrages, l'endiguement du réseau hydrographique côtier réduisent les apports solides vers la mer. Le prélèvement des sables sur l'estran provoque un appauvrissement des fonds et un raidissement des plages. Ces derniers, ont ainsi un impact direct sur la force érosive. Le dragage des sédiments pour la construction des ports et l'urbanisation sont des causes susceptibles d'intensifier les processus érosifs. Dans cette partie, sont abordées quelques activités humaines pouvant avoir un impact direct sur la mobilité naturelle de la côte : ports et digues, ouvrages de protection et barrage fluviaux, urbanisation du trait de côte et extraction de sable de plage.

2.3.1-Intervention de l'homme dans le secteur du Cap Lopez

a) Les installations pétrolières



Photo 5 : Terminal pétrolier (Total Gabon, 2006)

La construction du terminal pétrolier, suivi de l'extension du quai de chalands, s'est matérialisée par un bétonnage du trait de côte. Ce dispositif permet certes la consolidation du rivage, mais il a un impact majeur sur le transit sédimentaire et sur la fixation des sédiments (Photo 5). Il convient tout de même de préciser que le processus de bétonnage prendra sûrement de l'ampleur d'ici 2015.

La mise en chantier de la zone franche de Port-Gentil pourrait entraîner des modifications notables du linéaire côtier du Cap Lopez.

b) Les ouvrages de protection côtière

La construction des ouvrages de protection côtière le long de la plage du Cap Lopez contribue à la modification du trait de côte. Ces aménagements érigés soit parallèlement, soit perpendiculairement au rivage agissent selon trois dispositions :

- **les épis** vont engraisser et consolider les plages. Disposés perpendiculairement au trait de côte, ils vont bloquer le transit littoral et de fait charger la plage en sable. Ces aménagements sont à l'origine de l'avancée vers la mer du tronçon côtier situé entre la pointe Renard et la pointe Odden.

- **les brise-lames** installés de part et d'autre de la pointe du phare ont stabilisé le recul du trait de côte (Photo 6), même si l'on note encore un recul relatif des secteurs côtiers non couverts.



Photo 6 : Aménagement de la pointe du phare par des brise-lames (Menie, 2007)

2.3.2-Forage des puits de pétrole



Photo 7 : Forage on shore sur le cordon dunaire à l'Ouest de Port-Gentil-Océan (Total Gabon, 2006)

Le forage des puits de pétrole sur les plages ou en arrière de celles-ci peut contribuer à modifier le milieu, par une remobilisation des sables en haut de la dune.

L'utilisation des sables de plages pour fixer les équipements de forage ou stabiliser les voies d'accès favorise le recul de la côte (Exemple le puits de Port-Gentil Océan - Photo 7).

2.3.3-Emprise des actions anthropiques sur le front de mer de Port-Gentil

Long de 10 km environ, cette section du littoral est caractérisée par une concentration notable des ouvrages portuaires : 4 wharfs ou appontements, 3 môles appartenant à des sociétés privées. Toutefois aucune étude n'a été faite en vue de déterminer la contribution de ces ouvrages sur la variation du trait de côte, mais il n'en demeure pas moins que la forte emprise de ces derniers et leur densité sur le trait de côte contribuent à la modification du transit sédimentaire.

On constate que les secteurs d'érosion sur cette côte sont plus ou moins proches de ces installations.

a) Nengabembé – Pointe Clairette (fig.42)

L'occupation du sol, est caractérisée par la présence le long des plages, des habitats résidentiels, des espaces de villégiature et au niveau de la pointe Clairette par la raffinerie et le port industriel.

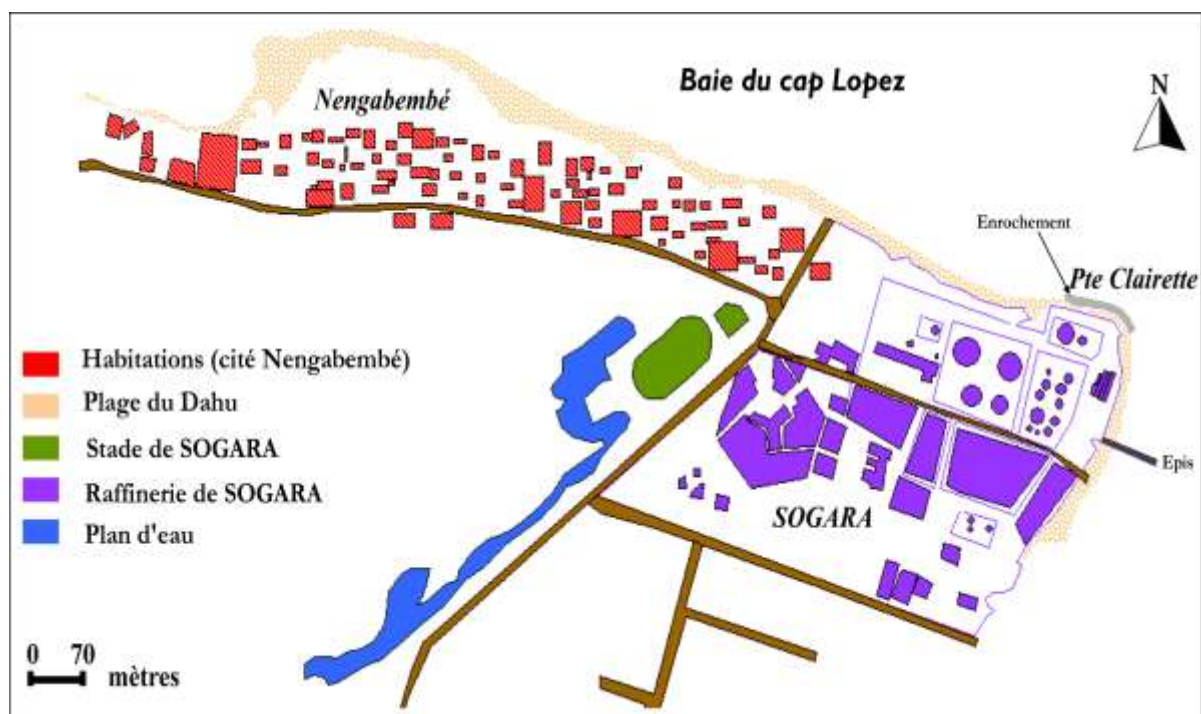


Figure 42 : Nengabembé et pointe Clairette (Menie, 2010)



Photo 8 : Complexe touristique de la plage du Dahu (Menie, 2007)

La surfréquentation de la plage du Dahu (Photo 8), l'aménagement de protection de la pointe Clairette contre les actions marines constituent autant de facteurs qui influencent la dynamique du trait de côte.

b) SOGARA au môle du « vieux port »

L'occupation du littoral (fig. 43) puise ses origines dans un contexte historique et économique tout à fait particulier. Il convient de rappeler brièvement les éléments essentiels de ce processus afin de mieux comprendre les transformations de ce littoral.

L'histoire du front de mer de la ville est étroitement liée aux intérêts économiques orientés vers l'industrie du bois et l'exploitation pétrolière.

Le commerce a été l'activité de base qui a permis des échanges avec l'extérieur du pays. Cette activité a débouché peu à peu sur un processus d'industrialisation avec pour conséquence la construction d'un premier port dit « vieux port ».

L'activité principale se consacra essentiellement au transport des grumes d'Okoumé¹⁵ et aux transports des voyageurs vers l'intérieur du pays.

Ce processus s'est ensuite concrétisé par la création de la Compagnie Forestière du Gabon (CFG), dont l'assise spatiale occupe la partie Nord de ce secteur côtier.

En plus des activités énoncées précédemment, il existe aussi sur le site des infrastructures de traitements et des services à l'exportation des produits.

La production pétrolière a débuté en 1957 avec la mise en exploitation des gisements Ozouri, Mbéga et Clairette. Le développement de la production, d'abord lente jusqu'en 1966 (1,4 millions de tonnes de barils), s'est ensuite accéléré pour atteindre les 10 millions de tonnes en 1974 (CDEL¹⁶, 2005). Cette intensification des activités économiques a consolidé l'urbanisation et l'artificialisation des estrans.

Du fait de ces activités, très tôt la ville de Port-Gentil se trouve confrontée à un problème de gestion de l'espace urbain causé par le non respect du plan cadastral et du plan d'occupation du sol. Cette spécificité contribue indirectement à des occupations anarchiques du rivage et à des choix non réfléchis de conquête de l'espace maritime.

Les espaces « libres » représentent 2% de l'espace littoral (Cadastre, 2005), ils sont constitués de réserves foncières appartenant à des institutions publiques nationales (OPRAG, SOGARA) ou à des entreprises privées (TOTAL GABON).

¹⁵ Okoumé : nom scientifique *Aucouméa Klaineana*, de la famille des Burceracées est une essence exotique très prisée dans l'industrie du bois et pharmaceutique. Son habitat naturel est la forêt humide du bassin Congo

¹⁶ CDEL : Cadre de Développement Economique Local

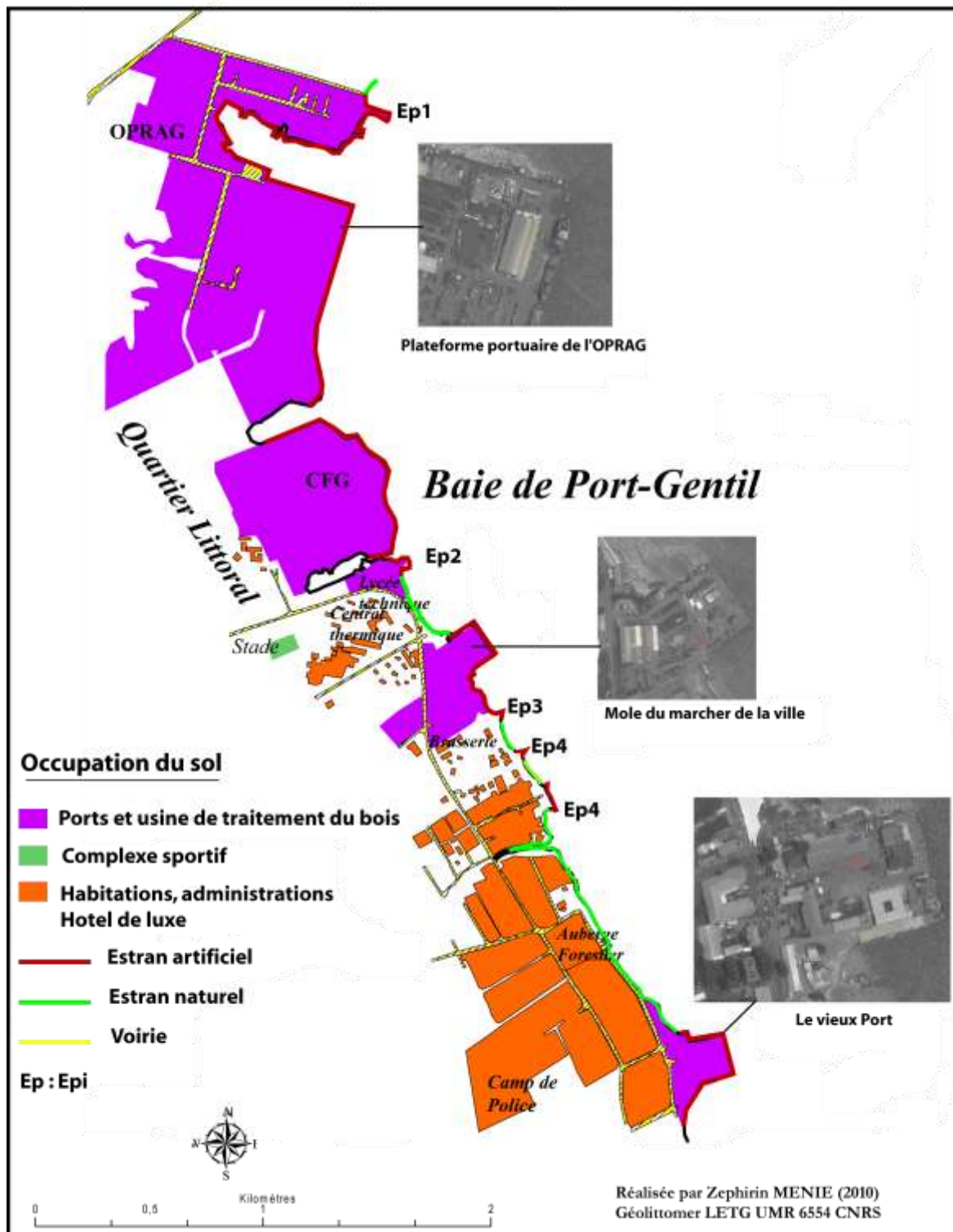


Figure 43: Occupation du sol et artificialisation du trait de côte de la baie de Port-Gentil

Ces terrains ont été acquis à une période où la situation économique permettait d'envisager une extension des activités de certaines entreprises exerçant sur l'interface terre/mer. Cependant avec la spéculation foncière, ces endroits ont pris de la valeur, mais l'absence d'un cadre réglementaire de gestion fait que ces entreprises les exploitent à leur convenance, nonobstant les conséquences d'un déséquilibre du milieu naturel.

c) Hôtel Méridien -Matanda

L'occupation du sol à moins de 500 m du trait de côte est dominée ici par trois grandes classes (fig.44): les zones commerciales et administratives, les zones d'activités ou industrielles (pétrolières, militaire, touristiques), les zones résidentielles.

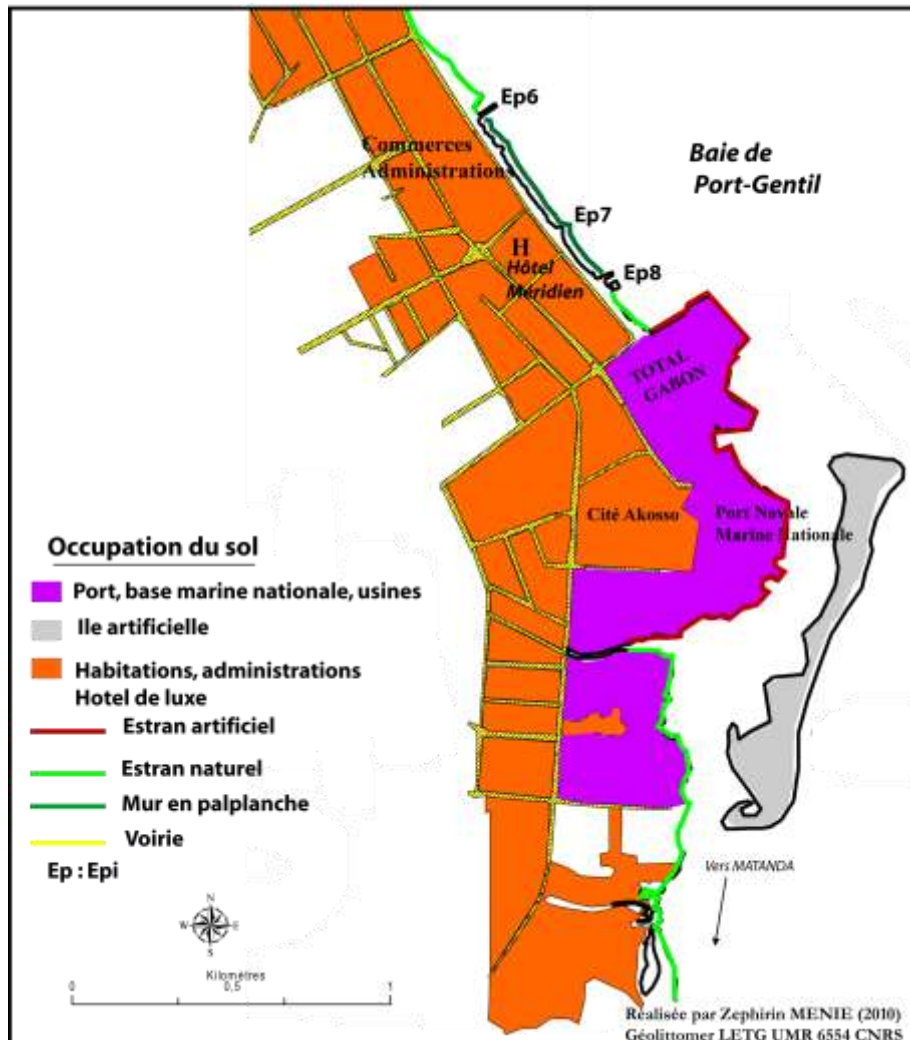


Figure 44 : Occupation du sol et artificialisation du trait de côte de la pointe Akosso

Les **zones commerciales** représentent environ 20 % d'occupation du sol sur la portion du littoral concernée. Elles englobent les centres commerciaux, les bâtiments administratifs et les services annexes. Leur extension se fait non seulement sur la franche littorale mais surtout à l'intérieur de la ville. Leur installation s'est faite au rythme des mutations urbaines et leur emprise sur le rivage n'est pas bien prononcée ou est presque négligeable.

Les bâtiments administratifs et les services sont disposés parallèlement au trait de côte au delà de la limite des 200 m par rapport à la plage.

Les **zones d'activités pétrolières ou industrielles**, occupent environ 52 % de cet espace. Les modifications majeures du trait de côte ont été effectuées dans ces secteurs. Cela va du dragage des fonds marins à la construction des marinas et autres îles artificielles.

Les **zones résidentielles** sont de deux types :

- (1) Les noyaux résidentiels urbains proches du rivage disposés parallèlement au trait de côte,
- (2) Les occupations anarchiques sans autorisation de construction ou titre foncier.

La zone (1) est composée d'hôtels et de résidences des travailleurs des sociétés pétrolières. A ce niveau s'ajoutent les palais de quelques dignitaires et représentations diplomatiques. L'occupation du sol a respecté le plan originel laissé par les colons.

La zone (2) concerne le marais de Matanda, non assainie.

2.3.4-L'extraction du sable de plage



Photo 9 : Extraction de sable de plage au Nord de Port-Gentil (Menie, 2007)

L'extraction du sable sur les plages demeure une pratique courante le long du littoral de l'île Mandji. Cette activité lucrative se développe de plus en plus.

La construction de la ville de Port-Gentil a suscité un besoin accru en matériaux de construction. Le substrat étant constitué de sable, il est donc utilisé pour bâtir les maisons. Cette pratique se fait aussi bien pour des besoins domestiques (photo 9) que pour la construction de grosses œuvres. Cette dernière est pratiquée par les entrepreneurs privés spécialisés dans la vente de matériaux de

construction des maisons individuelles ou pour la réfection de la chaussée. Ils utilisent des camions et des engins des travaux publics. L'impact de cette forme d'extraction est beaucoup plus dévastateur pour l'équilibre des plages.

2.3.5-La construction des barrages hydroélectriques et les projets en cours de réalisation dans le bassin de l'Ogooué

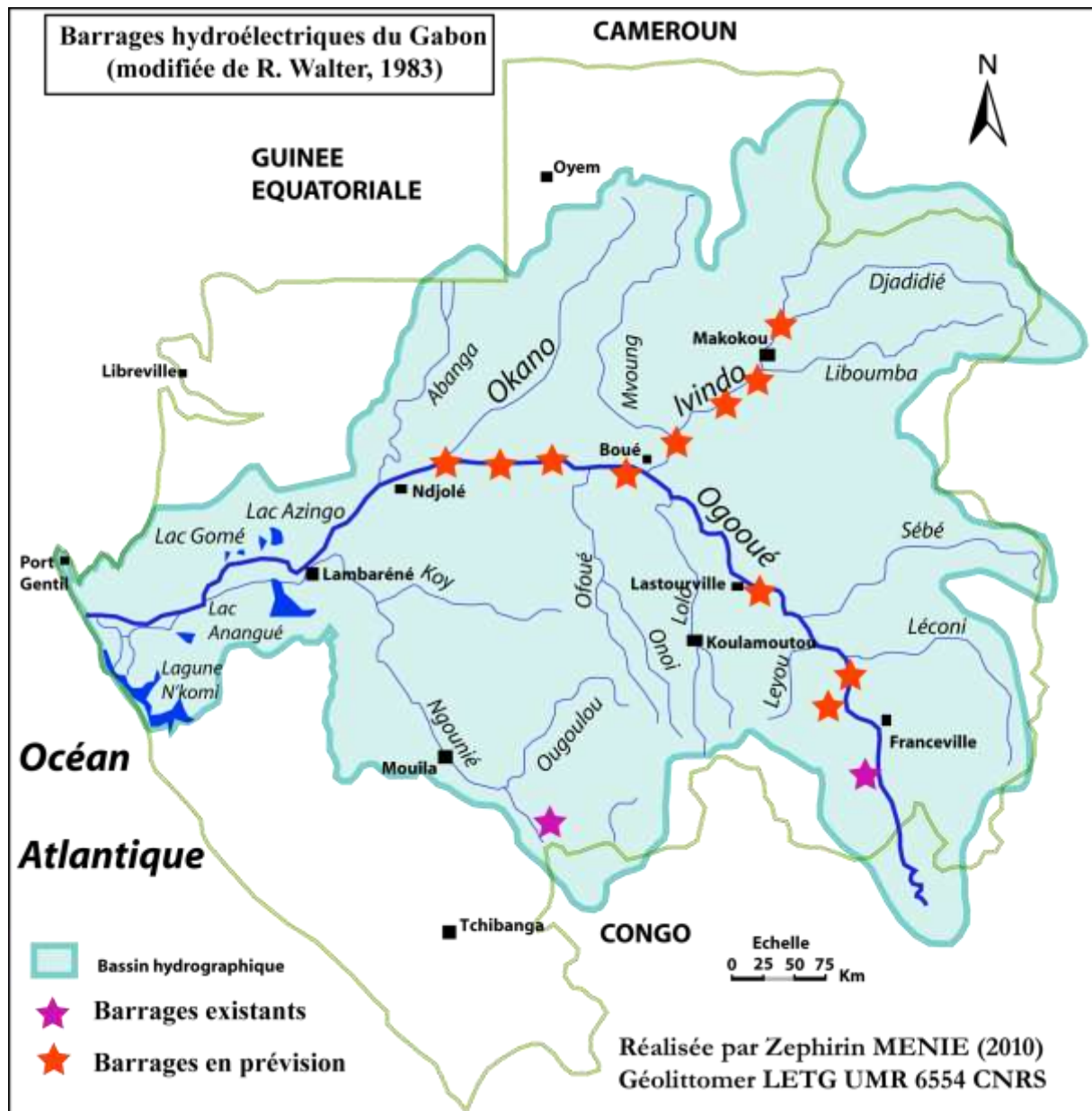


Figure 45 : Barrages hydroélectriques actifs et en projet (D'après R. WALTER, 1983 ; in Géographie et cartographie du Gabon. Atlas illustré.IPN, modifiée)

L'un des facteurs susceptible d'accélérer le démaigrissement des plages et de facto une intensification de l'érosion, est l'extension des barrages hydroélectriques sur les artères principales

du bassin de l'Ogooué (fig.45). Nous ne disposons pas de données chiffrées sur le déficit occasionné par les barrages existant (*Kinguélé, Poubara et Tchimbélé*). Le fait qu'ils appartiennent tous au bassin de l'Ogooué mérite qu'on se pose un certain nombre de questions quant au ravitaillement alluvionnaire du delta de l'Ogooué et le souci de son évolution avenir.

2.4-CONCLUSION PARTIELLE

Le constat réel d'un estran en perpétuel métamorphose, nous amène à mettre en évidence les facteurs en cause. Il en ressort que les changements climatiques à l'origine des variations eustatiques se sont toujours soldés par le remodelage du littoral de la flèche Mandji. Une analyse approfondie de ce phénomène, a permis de déceler d'autres forçages dont les plus importants sont les facteurs météo-marins et les actions humaines.

Parmi les forçages naturels, nous notons les houles, la marée et les courants de surface. Chacun de ces éléments contribue à l'évolution des estrans. Nous insistons sur les houles de provenance Sud et Sud-ouest qui ont un rôle primordial dans la dynamique du trait de côte, parce que d'une part, elles entretiennent le transit sédimentaire le long de la côte, et d'autre part, causent le démaigrissement de telles plages au détriment de telles autres.

Dans un contexte de réchauffement climatique avec une amplification annoncée de l'intensité des forçages naturels, la houle mérite un suivi régulier afin de se prévenir des catastrophes annoncées. En dehors des facteurs naturels, les installations humaines contribuent aussi à l'évolution du trait de côte. L'artificialisation des estrans par les installations pétrolières et portuaires constituent les exemples les plus marquants.

En somme, la maîtrise des changements morphologiques, passe par la compréhension et le contrôle des forçages aussi bien naturels qu'anthropiques.

Chapitre 3 : CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE ET ÉVOLUTION DES PETITS FONDS MARINS

INTRODUCTION.....	92
3.1-MORPHODYNAMIQUE DU SYSTEME COTIER EN ENVIRONNEMENT TIDAL	93
3.2-APPROCHE GLOBALE DE LA CINÉMATIQUE DU TRAIT DE COTE DE LA FLECHE MANDJI ENTRE 1962 ET 2001.....	99
3.3-APPROCHE SECTORIELLE DE LA CINÉMATIQUE DU TRAIT DE COTE : ZOOM SUR LE CAP LOPEZ.....	114
3.4- IMPACT DES OUVRAGES DE PROTECTION CÔTIÈRE SUR LA CINEMATIQUE DU TRAIT DE CÔTE DE 1958 À 2007	129
3.5-ANALYSE DIACHRONIQUE DE L'ÉVOLUTION DES PETITS FONDS MARINS ENTRE 1958 ET 2007 : SECTEUR DU CAP LOPEZ	136

INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré à la quantification de la morphodynamique de la flèche Mandji à court et moyen terme. Deux indicateurs représentatifs de cette dynamique sont présentés : le trait de côte et la bathymétrie des petits fonds marins. Cette investigation se fait à l'échelle de la flèche Mandji et à l'échelle du Cap Lopez.

Afin de minimiser les erreurs survenues lors des différentes étapes de l'analyse diachronique et par souci de concordance entre les divers résultats, nous optons pour deux méthodes de quantification de la cinématique du trait de côte : les levés de terrain à partir des points repères disposés le long de la côte et la quantification numérique à partir d'un SIG.

Ce chapitre s'organise en quatre rubriques :

- Classification morphodynamique des plages de la flèche Mandji,
- Evaluation numérique de la mobilité du trait de côte pour la période 1962-2001,
- La tendance de la dynamique du trait de côte à partir de "la courbe +2 m",
- Analyse diachronique de la dynamique des petits fonds marins « zoom sur le Cap Lopez »

3.1-MORPHODYNAMIQUE DU SYSTEME COTIER EN ENVIRONNEMENT TIDAL

3.1.1- Quelques aspects bibliographiques

a) Rôle des marées

Les houles constituent les principaux forçages hydrodynamiques de la zone littorale (Wright et al, 1984). Leur action est tributaire des conditions météo-marines (tempêtes, périodes calmes eaux, saisons des pluies...).

La marée constitue le second facteur expliquant la morphologie des plages. Celle-ci crée ainsi un espace intertidal dont la largeur est en partie proportionnelle à l'amplitude des marées (Morellato, 2008).

Nous distinguons ainsi les zones suivantes (fig.46) :

- zone supratidale, située au dessus du niveau des plus hautes mers de vive-eau;
- zone intertidale, située entre le niveau des plus hautes mers de vive-eau et le niveau des plus basses mers de vive-eau ;
- domaine subtidal, situé en dessous du niveau de plus basse mer de vive-eau.

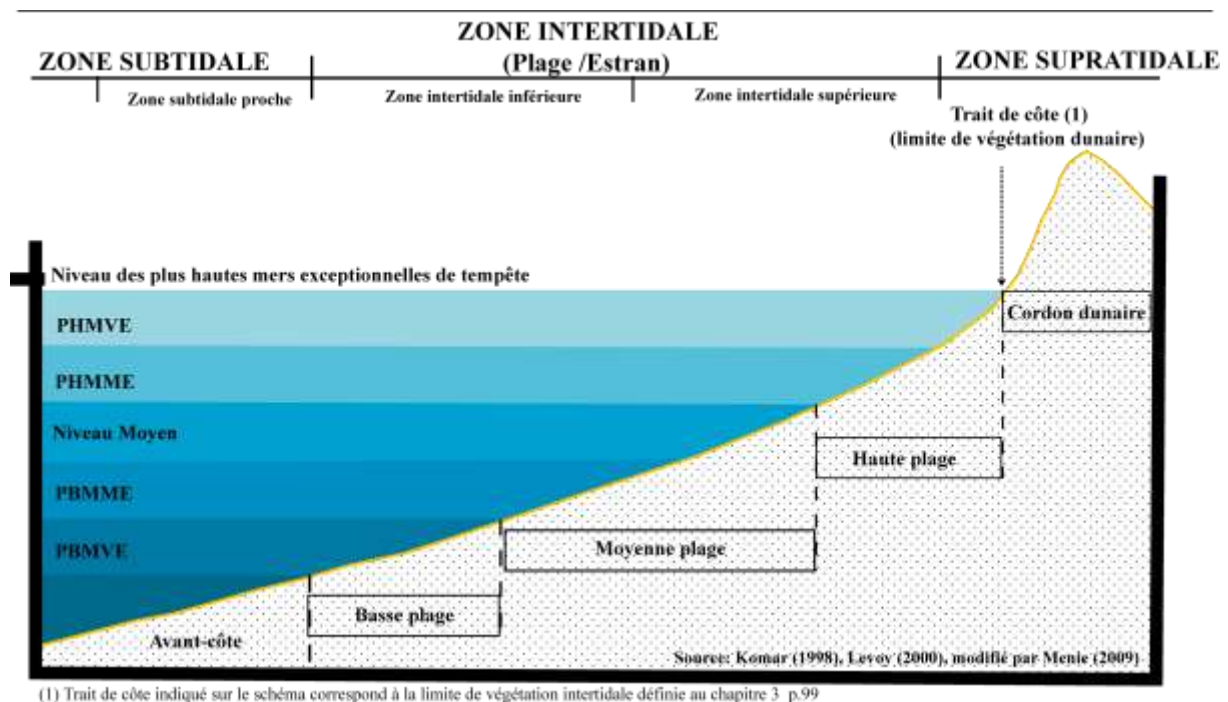


Figure 46 : Terminologie des différents domaines côtiers sableux en environnement tidal (d'après Komar, 1998, [74] et Levoy, 2000, [81] ; modifié de Menie, 2010)

On distingue ainsi trois types de plages en fonction du marnage (Davies, 1964):

- microtidales pour un marnage inférieur à 2 m
- mésotidales pour un marnage compris entre 2 et 4 m

- macrotidales pour un marnage supérieur à 4 m

La méthodologie appropriée pour l'analyse de la morphodynamique d'une plage se fait selon un plan orthonormé de trois axes:

- la direction perpendiculaire à la plage, dite « cross-shore ».
- la direction parallèle au trait de côte dite « longshore »
- la direction verticale qui définit l'amplitude des formes observées

Les mesures faites selon la direction verticale et selon la direction cross-shore sont communément appelées « profil de plage ».

b) Classification semi-quantitative de la morphologie des plages

La connaissance approfondie d'une plage passe par la distinction de stades morphologiques associés à des conditions hydrodynamiques. Ainsi la forme d'une plage peut correspondre à un équilibre stable ou à un stade de transition. Il peut être le résultat d'un niveau d'énergie appliqué à la plage, d'un équilibre dynamique ou bien d'une entrée ou sortie de sable dans le système (Desmazes, 2005)

L'intérêt premier d'une classification morphodynamique d'une plage à partir d'un certain nombre de paramètres environnementaux (Tab.1) permet par comparaison avec une plage type, d'obtenir les informations sur son évolution potentielle (accrétion, régression).

Tableau 1 : Paramètres environnementaux

indices	paramétrisation	références
paramètre de réplication de la barre (<i>surf similarity parameter</i>)	$\xi_b = \frac{\tan \beta}{\sqrt{\frac{H_b}{L_0}}} \quad (1)$	Iribarren et Nogales (1949) Battjes (1974)
paramètre d'échelonnement de la barre (<i>surf scaling parameter</i>)	$\varepsilon = \frac{H_b \omega^2}{2g \tan^2 \beta} \quad (2)$	Guza and Inman (1975)
vitesse de chute adimensionnelle	$\Omega = \frac{H_b}{\omega_s T} \quad (3)$	Gourlay (1968) Dean (1973)
paramètre de Sunamura	$K = \frac{H_b^2}{g T^2 d_{50}} \quad (4)$	Sunamura (1986, 1988)
marnage relatif (<i>relative tidal range</i>)	$RTR = \frac{MSR}{H_b} \quad (5)$	Masselink and Short (1993)

NB : références citées dans Morellato, 2008.

Les travaux réalisés sur les plages australiennes (Wright and al, 1982; Short and Hesp, 1982; Wright and Short, 1984; Short and Aagaard, 1993), ont conduit à l'élaboration d'un indice

environnemental Ω et à la construction d'un premier modèle empirique de classification de la morphologie d'une plage microtidale en se basant sur les caractères granulométriques (la vitesse de chute des particules ω_s) et dynamiques (la hauteur des brisants H_b , la période des vagues T). L'indice Ω dit de Gourlay (1968) et de Dean (1973) est défini par la formule suivante :

$$\Omega = [H_b / \omega_s T] \quad (3)$$

▪ **Paramètre de Sunamura (4)**

K est un autre paramètre morphosédimentaire utilisé. Sa formule est presque identique à celle de Ω si ce n'est la prise en compte du grain médian (d_{50}), de l'accélération de la pesanteur (g) et de la période au carré (T^2). Il permet d'obtenir une typologie des plages (précisée plus loin) en vérifiant les conditions suivantes :

- $4 < K < 5$ plage réfléchive
- $5 < K < 6$ plage intermédiaire
- $6 < K < 7$ plage dissipative

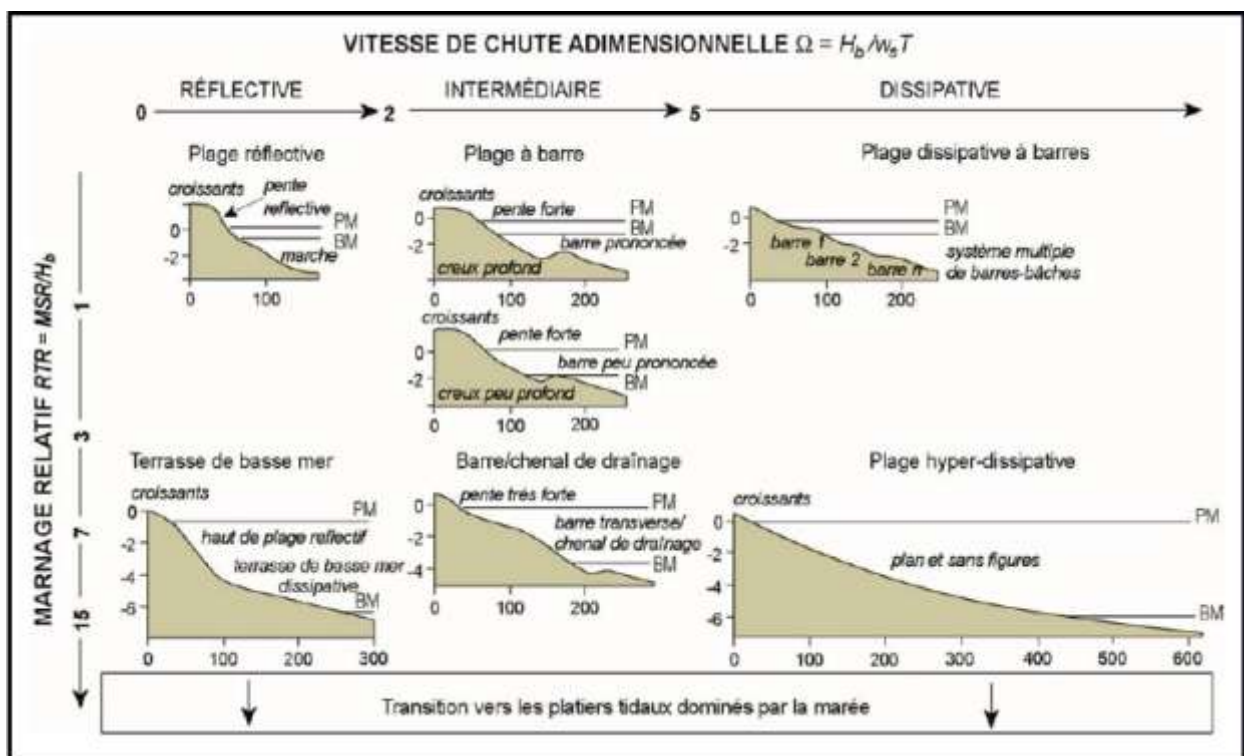


Figure 47 : Classification morphodynamique des plages sous influence des houles et de la marée (Masselink & Short, 1993)

Une adaptation de ces modèles aux plages méso et macrotidales a été plus récemment faite par Masselink and Short (1993) avec une intégration de l'influence du marnage. Ils introduisent un nouvel indice, le marnage relatif (RTR), afin de préciser les états morphologiques des plages (réflective, intermédiaire, dissipative). Cet indice se définit de la façon suivante :

$$\mathbf{RTR} = [\mathbf{MSR} / \mathbf{H_b}] \quad (5)$$

Avec **MSR** : le marnage moyen de vive eau

La classification morphodynamique des plages proposée par Masselink et Short (1993) tient compte du marnage et des houles en jeu dans le contexte des plages australiennes (fig.48). Les auteurs distinguent ainsi trois états morphodynamiques des plages: dissipatif, intermédiaire et réfléchif (fig.47).

▪ Le marnage relatif

- Un $\mathbf{RTR} < 3$ indique une prédominance des vagues, l'état réfléchif est caractérisé par une plage à pente forte. On observe des croissants de plage en haut de plage, avec la présence ou pas d'une barre qui à marée basse reste toujours immergée. Cet état génère des barres intertidales et subtidales.

La morphologie intermédiaire présente une pente moins accentuée en bas de plage, des croissants sur la berme et une barre sous-marine bien marquée.

L'état dissipatif est marqué par un système multibarres réparties entre la plage intertidale et sous-marine

- Pour un marnage relatif moyen ($3 < \mathbf{RTR} < 15$) on note une influence partagée des houles et de la marée.

La morphologie intermédiaire de la plage présente une barre sableuse sous-marine qui affleure à basse mer.

- Pour un marnage relatif fort $\mathbf{RTR} > 15$ on note une croissance du marnage qui se solde par une atténuation des formes littorales jusqu'à leur disparition.

Les plages réfléchives présentent une berme et des croissants en haut de plages intertidales à forte pente. Le bas de plage à faible pente forme une terrasse à marée basse ;

L'état intermédiaire est caractérisé par des barres de marée basse et par des chenaux. Au niveau de la plage sous-marine ces barres prennent du volume lors du balancement de la marée ;

L'état dissipatif se manifeste par un très large estran et une absence de barres sableuses.

En dehors des indices morphosédimentaires $\mathbf{\Omega}$ et \mathbf{RTR} , Anthony (1998), souligne que les indices ξ (1) et ϵ (2) (Tab.), basés sur la pente de la plage et les paramètres des vagues ($\mathbf{H_b}, \mathbf{T}$), sont plus aptes à définir la morphodynamique des plages intermédiaires.

3.1.2.-Caractéristiques du site d'étude

a) Exemple de la plage de la pointe du Phare

Dans le contexte de la flèche Mandji, un exemple de plage type est représenté par l'illustration ci-dessous (fig.48). Par rapport au zéro hydrographique du cap Lopez, la limite de plus haute mer de vive-eau est à +2,30 m, la limite du niveau moyen des eaux est à +1,30 m et le domaine de basse mer de vive-eau se situe à +0,80 m. Entre les trois domaines ainsi définis, se dessine une plage à pente faible sans barre apparent. D'après la classification de Masselink et Short (1993) cette plage est de type réfléchitif.

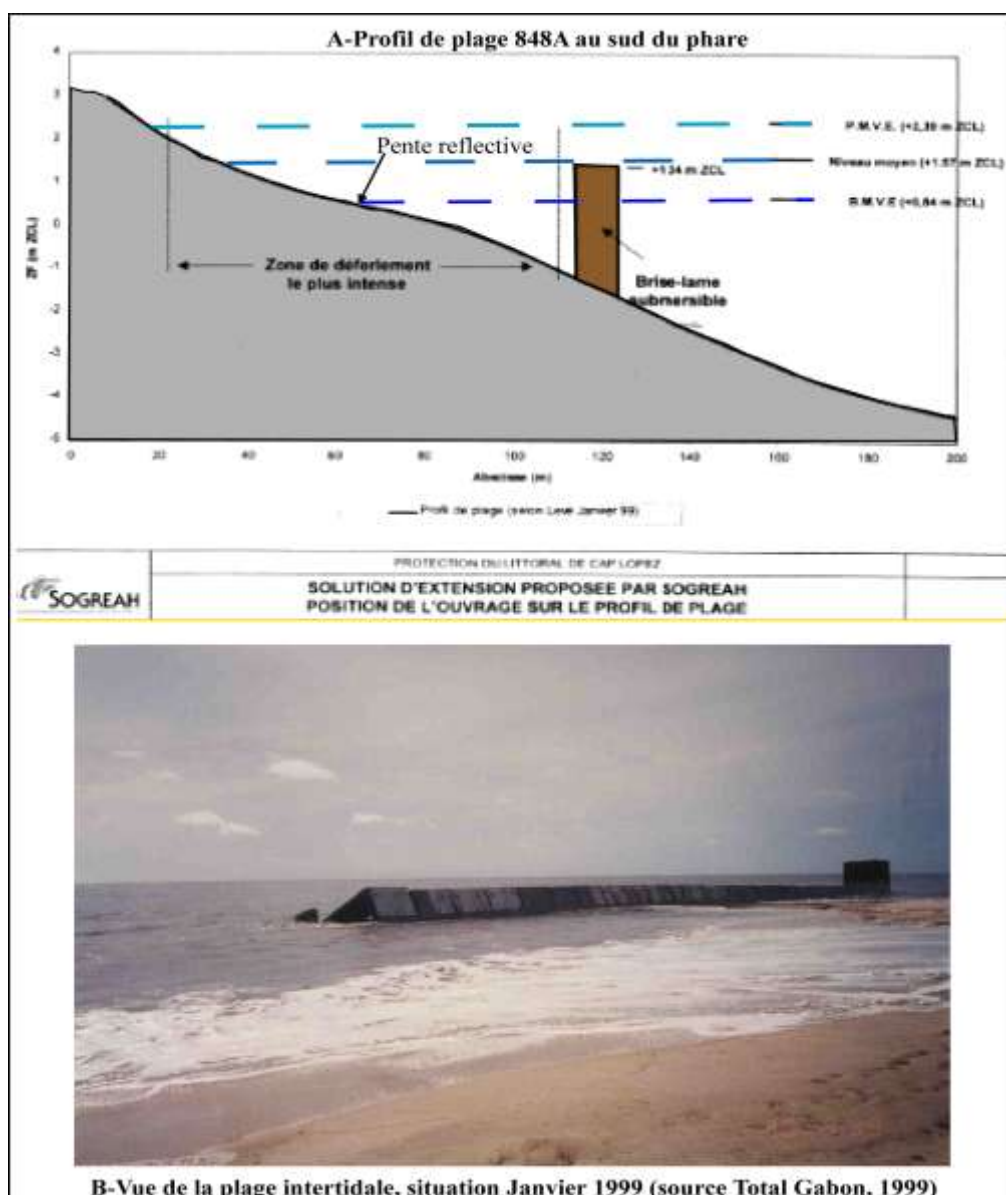


Figure 48 : A-profil de plage 848A et B-photographie de la plage du phare.

b) Application des indices K et RTR aux plages de la flèche Mandji

En dépit du facteur géographique, le même modèle reste transposable au contexte de la flèche Mandji. Pour déterminer l'état morphodynamique des plages, nous expérimentons le paramètre de Sunamura (K) et le marnage relatif (RTR).

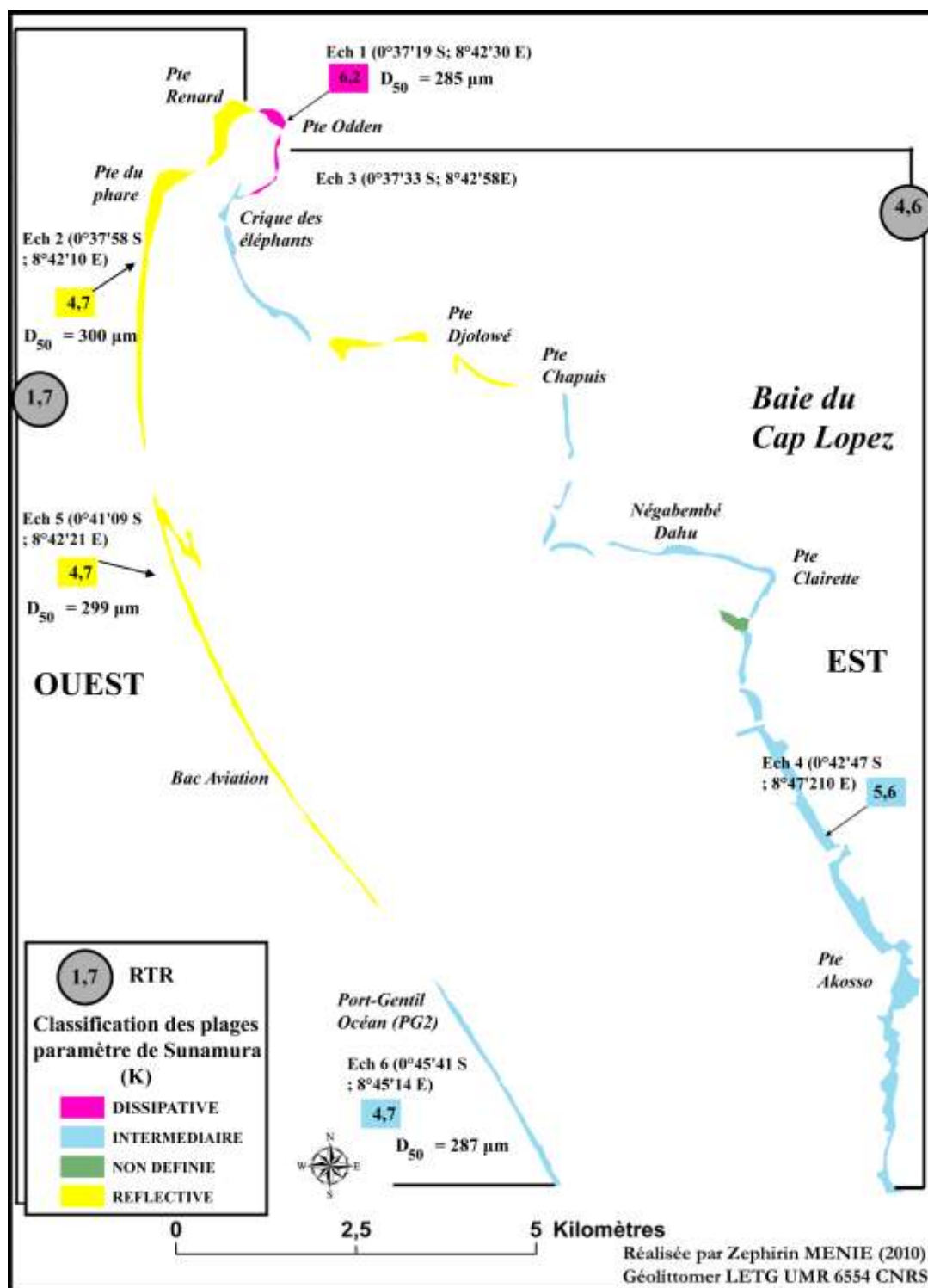


Figure 49 : Classification des plages de la flèche Mandji

De cette classification ils se dégagent trois catégories de plages réparties en trois régions géographiques distinctes (fig.49) :

- la côte Ouest est constituée d'une fraction majoritairement sableuse avec un marnage relatif nettement faible de l'ordre de 1,7 caractéristique de plages réfléchives.
- de la pointe Odden à la crique des « éléphants », la granulométrie des plages est composée d'un mélange de fraction fine et sableuse et c'est une zone de faible énergie (facteurs météo-marins) avec une influence partagée des houles et des marées. Ces plages sont de type dissipative.
- la façade Est est composée de plages intermédiaires dominées par une fraction fine (vaseuse) et par un marnage relatif important de 4,6.

3.2-APPROCHE GLOBALE DE LA CINÉMATIQUE DU TRAIT DE CÔTE DE LA FLECHE MANDJI ENTRE 1962 ET 2001

3.2.1-Le choix d'une ligne de référence

Le trait de côte se définit généralement comme étant la ligne de contact entre la mer et la terre. La question est de savoir de quelle limite il s'agit ? Robin (2002) a défini une douzaine de lignes de référence pouvant être assimilées au trait de côte. Par ailleurs, cette notion a déjà fait l'objet de plusieurs publications scientifiques. Grenier et al (1990) proposent une synthèse partielle des lignes utilisables à travers le recensement de 60 articles. Le trait de côte est juridiquement la ligne des plus hautes mers de vives-eaux délimitant du même fait le Domaine Public Maritime (Allain et al, 2000). D'autres auteurs assimilent le trait de côte à la ligne de rivage à pleine mer facilement identifiable sur les photographies aériennes par la différence radiométrique entre la partie humide et sèche de l'estran (Douglas and Crowell, 2000; Dehouck, 2006).

L'impérieuse nécessité de définir une ligne de référence symbolisant le trait de côte a orienté notre choix sur la limite de végétation supratidale correspondant à l'ados de plage (contact plage-dune bien perçu pour la limite de végétation). D'après Robin (2000), le tracé des contours de formations végétales intertidales renseigne bien sur la dynamique de l'estran. Le suivi de la limite des schorres informe sur la sédimentation ou l'érosion de l'estran ainsi que celle des mangroves (Le Rhun et al, 1989).

Pour une approche globale de la cinématique du trait de côte, nous optons comme ligne de référence la limite de la végétation supratidale.

3.2.2-Matériel et méthode

Dans un premier temps nous estimons la cinématique du trait de côte à l'échelle globale de la flèche Mandji, et dans un deuxième temps, l'investigation se limite à l'échelle du Cap Lopez.

Traditionnellement une étude diachronique du trait de côte consiste souvent à utiliser des photographies aériennes verticales, dont l'échelle oscille généralement entre le 1/15000^{ème} et le 1/30000^{ème} ; ces photographies sont géoréférencées sur la base des cartes topographiques au 1/25000^{ème} (Gaillot et Chaverot, 2001). La pénurie des photographies aériennes couvrant la totalité de la flèche Mandji, nous amène à intégrer des images Landsat. Pour une analyse à petite échelle de la dynamique du trait de côte, on utilise les images satellites. Pour une analyse à grande échelle, on combine les photographies aériennes verticales.

a) Données sources

Pour extraire l'information diachronique de la cinématique du trait de côte, les documents suivants ont servi de supports :

Tableau 2 : Les sources de données

Sources de données	Echelle d'exploitation	Ligne de référence	Auteurs
Landsat ETM+ (31/07/2001)	Résolution 30 m ; 1/50000	Limite végétation supratidale/plage	Université de Maryland et NASA
Landsat TM (07/02/1990)	Résolution 30 m ; 1/50000	Limite végétation supratidale/plage	Université de Maryland et NASA
Carte topographique (1962) « Ile Mandji Cap Lopez »	1/30000	Ados de plage	Service Hydrographique de la Marine-Paris, Topographie SPAFE
Carte topographique (1974) « Port-Gentil »	1/50000	Ados de plage	I.G.N. (Institut de Géographie National)

b) Prétraitement des données

Le prétraitement consiste à préparer les différents types de données aux manipulations devant nous conduire à la quantification de la cinématique du trait de côte. Celui-ci est marqué par trois étapes importantes :

Numérisation

Les cartes topographiques ont été acquises sous support papier de formats distincts. Le format A0 pour la carte topographique « Port-Gentil » et le format A3 pour la carte topographique « Ile Mandji - Cap Lopez ». Afin de pouvoir les exploiter, les deux cartes ont été préalablement scannées et transformées en support numérique exploitable par la plateforme informatique. Ces données sont numérisées de manière à être ensuite rectifiées et comparées les unes avec les autres.

Rectification géométrique des données.

La dynamique spatio-temporelle du trait de côte a été étudiée par le Système d'Information Géographique (SIG) à partir des deux cartes topographiques et des deux images Landsat (Tab.2). Les cartes topographiques ont été rectifiées géométriquement et projetées dans le système de projection cartographique UTM/WGS 84/Zone 32 Sud sous le logiciel ArcGIS 9.2. Les deux images satellites ont servi de référence pour la rectification géométrique des deux cartes topographiques. La méthode polynomiale (Thieler et Danforth, 1994a) a été utilisée pour rectifier les cartes par application d'un polynôme du 2nd degré nécessitant la fixation de 16 pts de calage par carte. La validation du géoréférencement s'est faite par une superposition parfaite des cartes les unes sur les autres et sur les images satellites.

Digitalisation du trait de côte

La digitalisation du trait côte aux quatre dates (1962, 1974, 1990, 2001) a été réalisée avec l'application EDITER de ArcGis 9.2. Sur les cartes topographiques, elle se fait facilement en digitalisant la limite plage /végétation déjà établie par les auteurs des deux cartes. Avec les images satellites (résolution 30 m) cette limite n'est pas évidente par une simple interprétation. On a donc au préalable procédé à une classification d'un extrait de l'image de la zone côtière concernée par notre analyse (bande de 800 par exemple). La segmentation de l'image en classe d'occupation du sol permet de distinguer la plage (pixels de couleur blanche) avec la végétation (pixels de couleur sombre). Le trait de côte correspond donc à la limite de contact entre deux pixels représentatifs des deux classes d'occupation du sol.

c) Estimation de la marge d'erreur globale

Compte tenu des incertitudes liées au calage des images, à la digitalisation du trait de côte et à la résolution spatiale des images satellites (30 m), une marge d'erreur globale doit être définie. L'incertitude globale fixe le seuil à partir duquel on considère qu'il y a une avancée ou un recul du trait de côte. Cette incertitude est la somme de l'ensemble des erreurs contractées pendant les opérations de prétraitement des données (Gourmelon F, 2008) :

- Erreurs liées au géoréférencement des cartes topographiques

Le rapport d'erreurs quadratiques moyennes (RMS) est calculé systématiquement par le logiciel ArcGis 9.2 lors du géoréférencement. Le calage des deux cartes topographiques a généré respectivement les erreurs respectives de $\pm 2,5$ m pour la carte de 1962 et de $\pm 1,6$ m pour la carte de 1974, ce qui donne une RMS moyenne d'ensemble de ± 2 m.

- Erreurs liées à la digitalisation du trait de côte

L'addition des intervalles de variation (cf Tab. Annexe A) pour chaque trait de côte aboutit à une imprécision de ± 4 m.

- Erreurs liées à l'interprétation des images satellites

Du fait d'une résolution spatiale de 30 m, une imprécision survient lors de la définition de la limite entre un pixel correspondant à la plage et un pixel de la végétation, le risque de se tromper est de $\frac{1}{2}$ d'où une incertitude de ± 15 m

- Calcul de la marge d'erreur du déplacement annuel moyen (Edam) du trait de côte (O' Carroll S., 2004))

$$Edam = (Ep_{1990} + Ep_{2001} + 2R + Ei_{1990} + Ei_{2001}) / (A_{2001} - A_{1990})$$

Edam : Erreur sur le déplacement annuel moyen

Ep_{1990, 2001}: Erreur sur le géocodage des photos (1990, 2001)

R : Résolution des images satellites (30 m)

Ei_{1990, 2001} : Erreur sur l'interprétation des images satellites (1990, 2001)

A₂₀₀₁-A₁₉₉₀: Année de référence

Ainsi pour la période 1962-2001, la marge d'erreur globale du déplacement annuel moyen du trait de côte a été établie à ± 2.4 m/an.

d) Mesure de la cinématique du trait de côte

- Quantification de la dynamique sédimentaire surfacique

Pour évaluer la mobilité annuelle de l'estran découvert et quantifier la cinématique du trait de côte entre deux dates consécutives, la méthode consiste à digitaliser les polygones de progradation et de recul déduit par l'intersection des deux traits de côte. La vitesse moyenne annuelle est déduite par le rapport de l'aire du polygone par le linéaire côtier associé et par le nombre d'années de la période concernée.

Enfin une cartographie de la cinématique du trait de côte entre deux dates et du bilan sédimentaire surfacique est produite pour chaque période évaluée. Les couleurs jaune et rouge affectées aux polygones correspondent respectivement aux processus de progradation et du recul du trait de côte.

- Suivi de la cinématique de l'estran le long des profils disposés perpendiculairement au trait de côte (annexe A1)

La technique consiste à générer 44 transects, d'égale distance les uns des autres, le long des 40 km du linéaire côtier concerné et à les disposer perpendiculairement au trait de côte. À partir du point d'intersection du trait de côte avec le transects à une date définie, nous obtenons les coordonnées suivant un axe des abscisses $(-\infty, 0, +\infty)$, correspondant à la distance de déplacement du trait de côte.

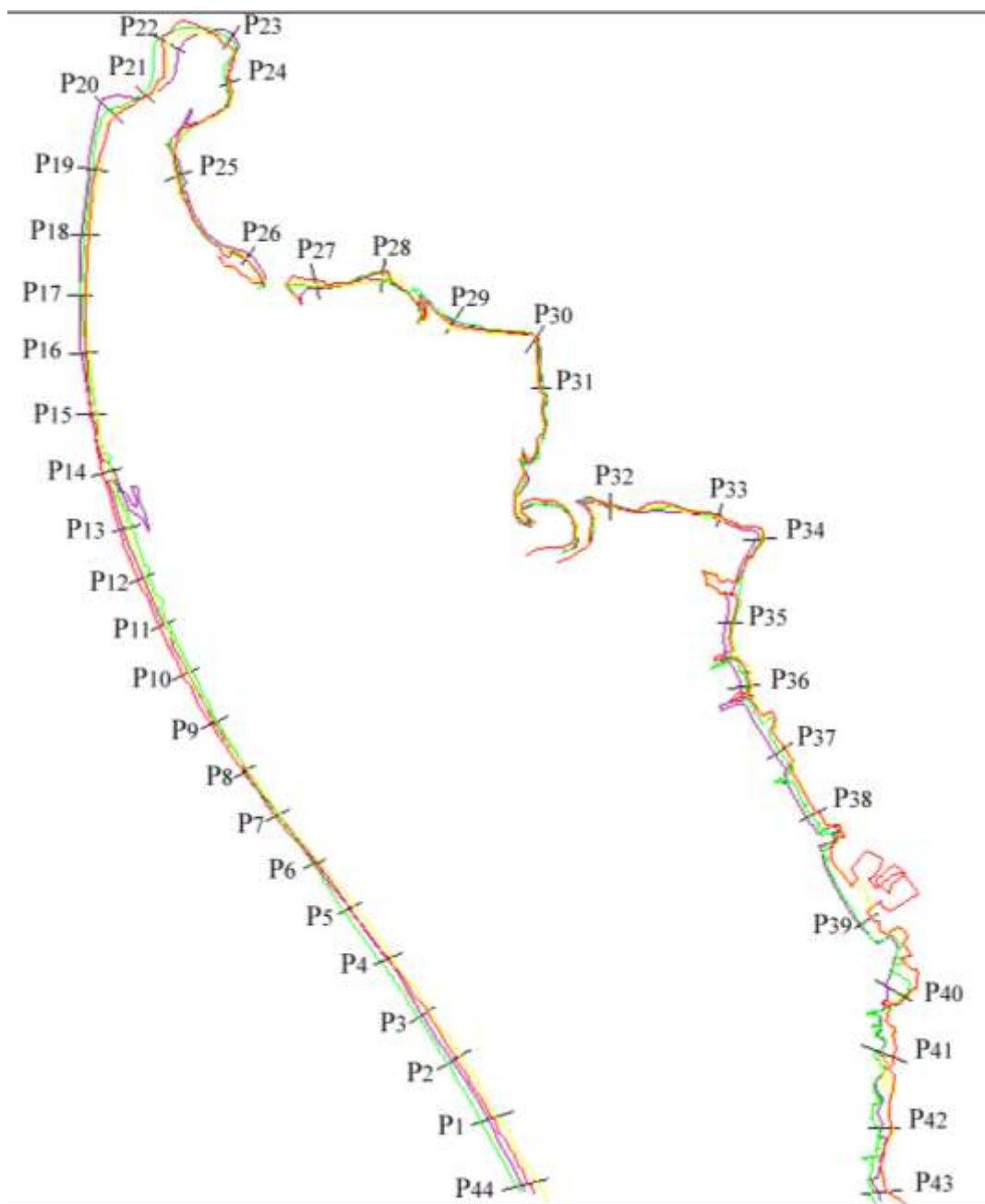


Figure 50 : Localisation des transects de suivi de la cinématique du trait de côte entre 1962 et 2001

L'évaluation de la vitesse de déplacement du trait de côte est obtenue à partir des mesures effectuées sur les 44 profils (fig.50). La ligne de végétation supratidale choisie comme référentiel, et représentant d'ailleurs la plus ancienne position occupée par le trait de côte, est celle de 1962. Enfin, la vitesse de déplacement est obtenue en divisant la distance parcourue par le trait d'un point T à un point T' par le nombre d'années de la période concernée. Le résultat de cette évaluation est représenté par les graphiques exprimant la tendance de la cinématique du trait de côte.

3.2.3-Résultats et interprétations

a) Phase composite (1962-1974)

La période est caractérisée par une alternance de phases de recul et de progradation de l'estran. Les secteurs soumis à un recul ou à une progradation évoluent en moyenne de 5 m/an, à l'exception des secteurs aménagés, où elles avoisinent les 15 m/an (fig.51).

La dynamique du trait de côte est symbolisée respectivement par les couleurs rouge (recul) et jaune (progradation). Sur les 40 km de linéaire côtier évalué, 52% est concerné par une progradation de l'estran contre 41% de recul de celui-ci (fig.51). La portion de côte stable (violet) ne représente qu'en moyenne 7% soit 3 km.

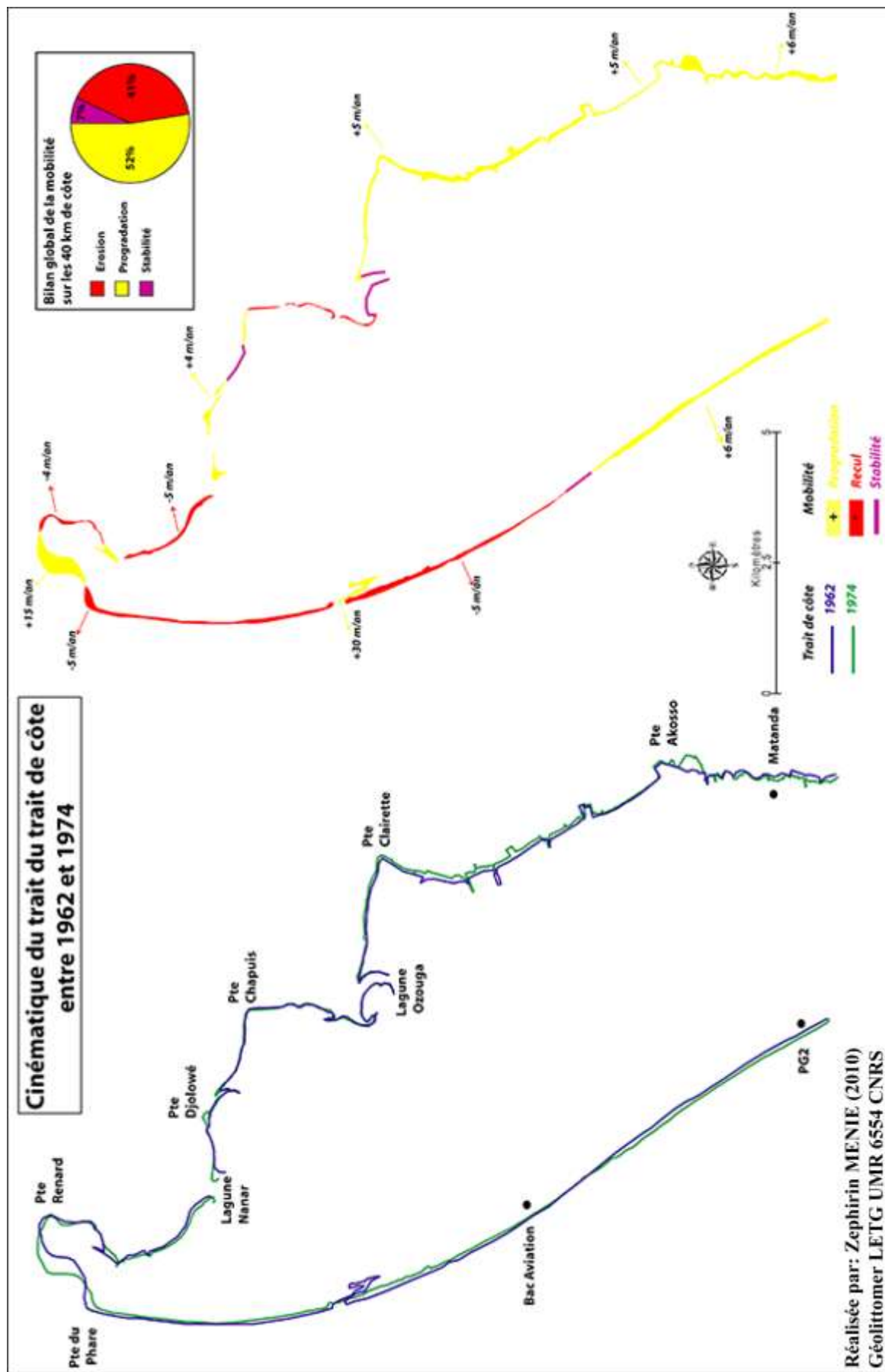
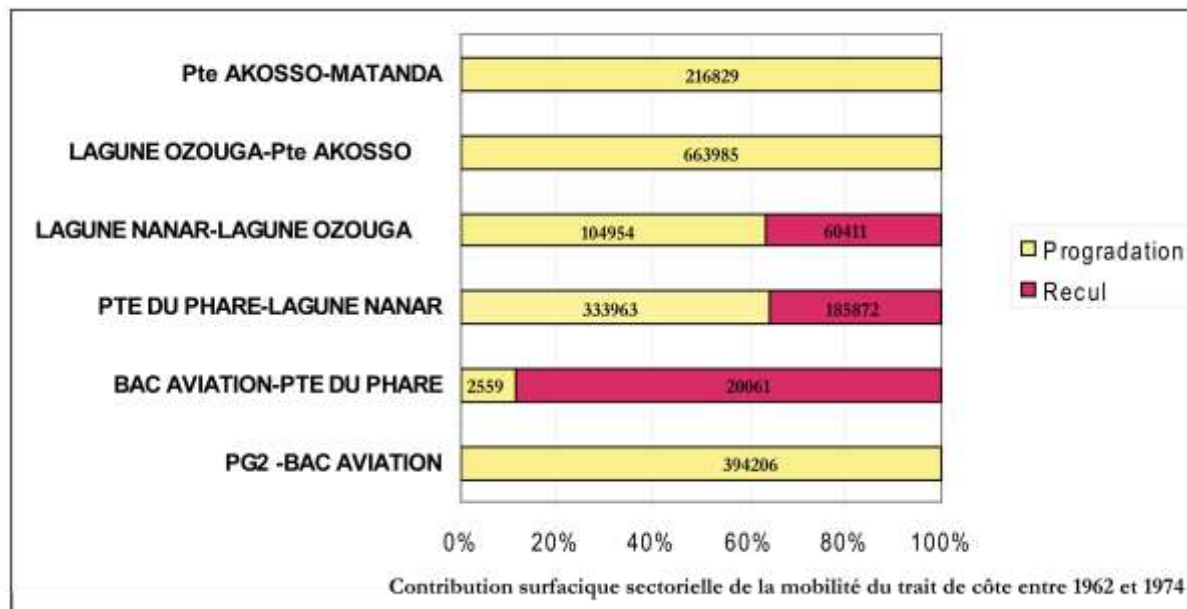


Figure 51 : Cinématique du trait de côte entre 1962 et 1974

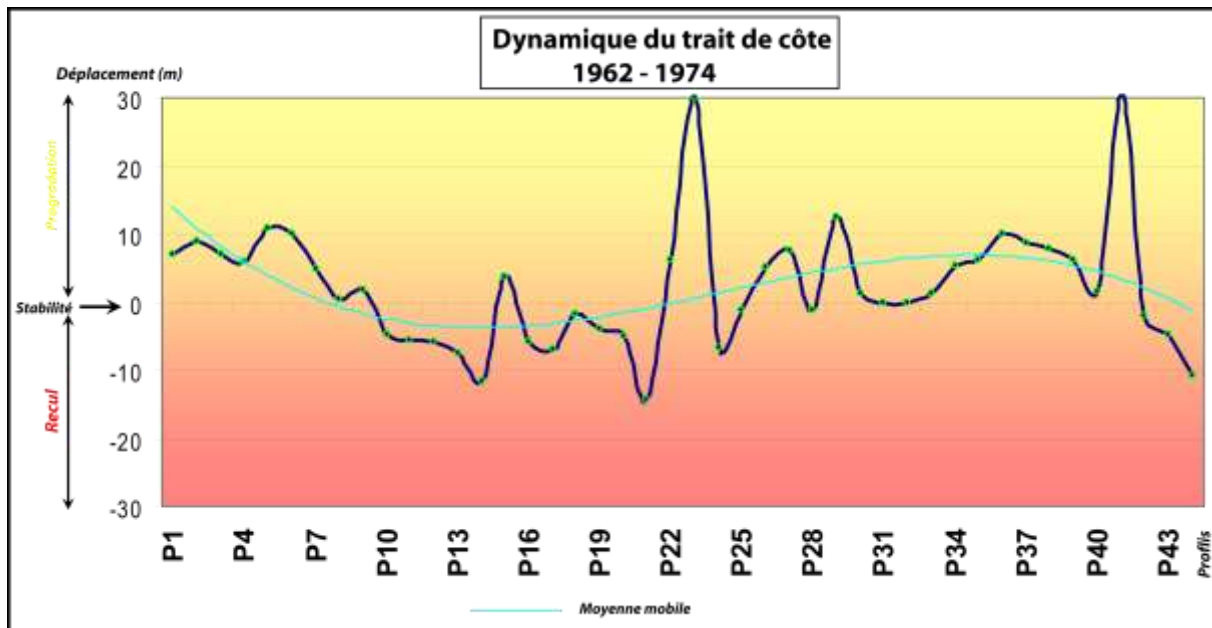
Le bilan surfacique de la dynamique du trait de côte entre 1962 et 1974 est +1255012 m². Cependant, des disparités sectorielles subsistent (Graph.6). Le secteur [Bac Aviation- Lagune Nanar] est concerné par ce mélange de phases de recul et d'avancée du trait de côte.



Graphique 6 : bilan surfacique de la mobilité du trait de côte entre 1962 et 1974

Le suivi par profil de la dynamique du trait de côte met en évidence un mouvement bidirectionnel du trait de côte. Cette situation de divergence est matérialisée par la courbe de tendance à deux phases (Graph.6) Le secteur [P1-P21] est marqué par un recul régulier du trait de côte, tandis que le secteur [P21-P44] est en phase de progradation. On note également que le processus de progradation n'excède pas la limite optimale de 7 m par rapport à la position de 1962.

Il convient tout de même de préciser que les secteurs en phase de recul connaissent une évolution naturelle, ce qui les diffère des secteurs en progradation. Par exemple, le recul du secteur [Bac aviation-Pte du Phare] a un lien direct avec l'action des forçages marins (houles), tandis que la progradation du secteur [Pte du phare-Pte Renard] est impulsée par l'aménagement d'un champ d'épis à partir de 1958 date de la mise en chantier du terminal du Cap Lopez. De même, le recul du trait de côte dans le secteur [Pte Renard-Lagune Nanar] s'explique par le glissement de la pointe Odden en juillet 1971.



Graphique 7: Tendence globale de la cinématique du trait de côte entre 1962 et 1974

b) Phase de recul du trait de côte [1974-1990]

L'érosion affecte la majorité des linéaires côtiers de la flèche Mandji à l'exception du front de mer de Port-Gentil (fig.52). Un peu plus de 45% du littoral, soit 18 km, recule sous l'action de la mer. A l'inverse, 21% des côtes représentant un linéaire de 9 km sont stables et près de 34% du littoral est en extension et gagne des terres sur la mer, essentiellement par l'aménagement des estrans.

Le secteur [PG2-Bac Aviation] qui entre 1962 et 1974 était en phase d'accrétion a connu une inversion de tendance. Le phénomène de recul du trait de côte qui se limitait à la pointe du phare s'étend au-delà de la pointe Renard.

La phase de progradation qu'a connue le secteur [Pte Clairette-Matanda] entre 1962 et 1974 reste inchangée.

Si on compare les vitesses de progradation actuelles avec celles de la période précédente, on constate une régression nette de celle-ci presque sur la totalité du linéaire côtier. Par exemple la vitesse de progradation du secteur [PG2-Bac Aviation] est passée de +6m/an pour la période [1962-1974] à -11m/an pour la période [1974-1990].

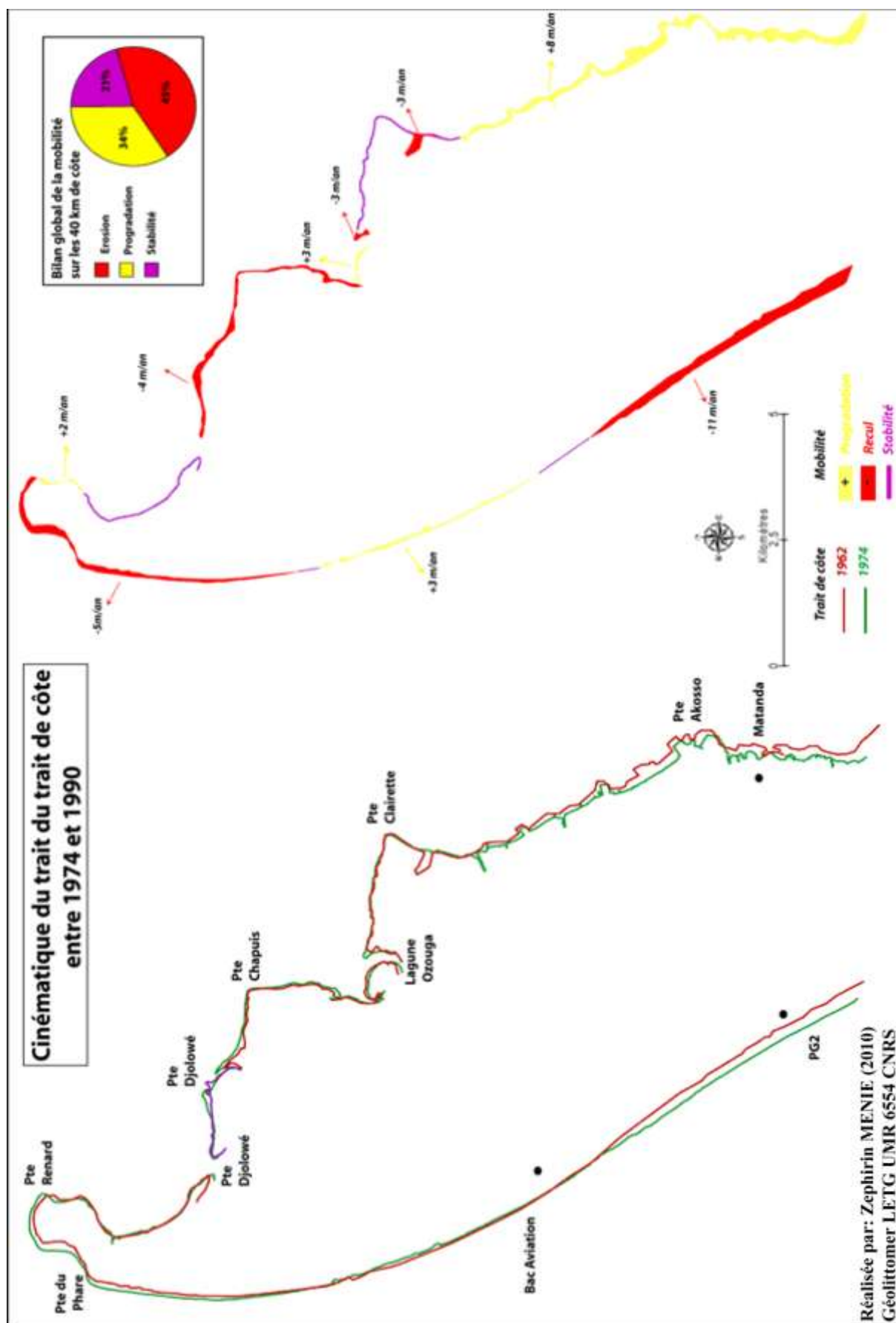
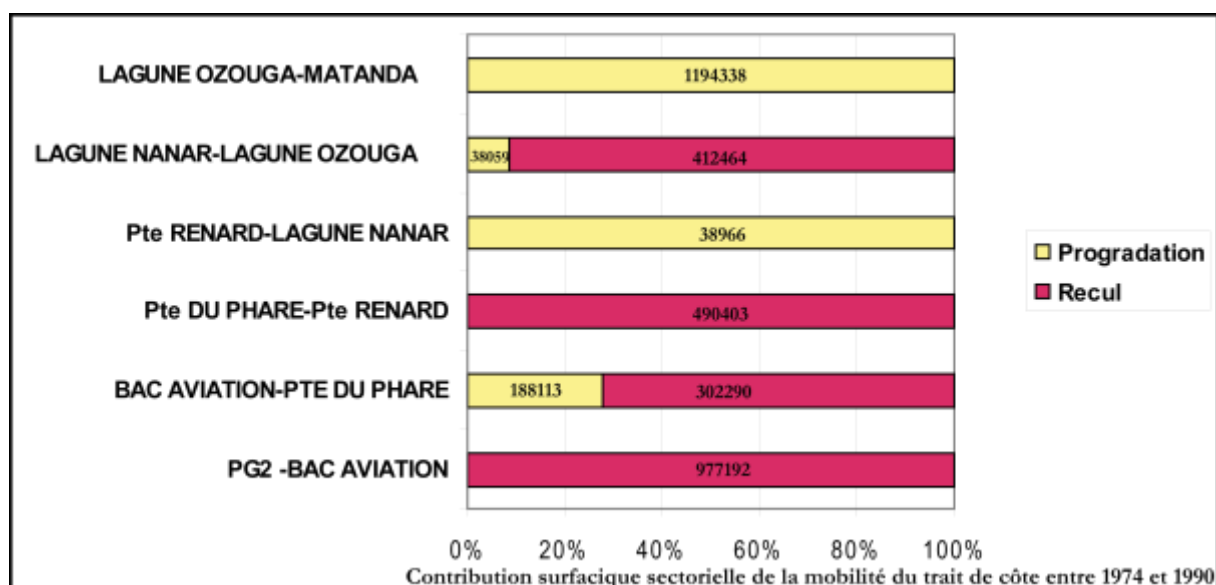


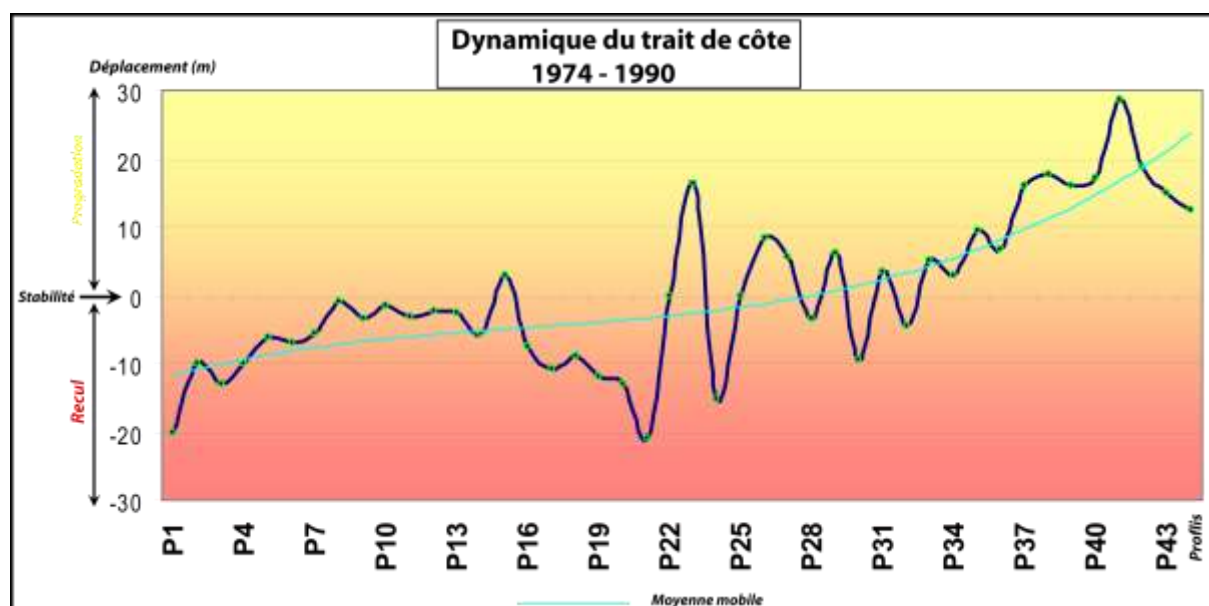
Figure 52: Cinématique du trait de côte entre 1974 et 1990

Le bilan sédimentaire surfacique pendant cette période est de -722873 m², soit une perte de 57% d'espace côtier par rapport à la situation [1962-1974] (Graph.8). Globalement, le linéaire côtier [PG2-Pte Renard] est le plus concerné par ce phénomène de recul. Car sur les 2182349 m² de perte enregistrée entre 1974 et 1990, plus de 2/3 proviennent du seul secteur [PG2-Pte Renard].



Graphique 8: Contribution surfacique de la mobilité du trait de côte entre 1974 et 1990

La dynamique de la ligne de rivage au cours de la période 1974-1990 est marquée par une inversion de tendance globale à l'exception du secteur [P34-P43] qui voit sa croissance se maintenir (Graph.9).



Graphique 9: Tendence globale de la cinématique du trait de côte entre 1974 et 1990

c) Stabilisation et reprise de la sédimentation du littoral [1990 et 2001]

51% du linéaire côtier de la flèche Mandji reste invariable, soit 21 km. Un peu plus de 38% de côte, soit une section de 15 km, est concernée par une progradation. 3 km de côte subissent le recul (fig.53).

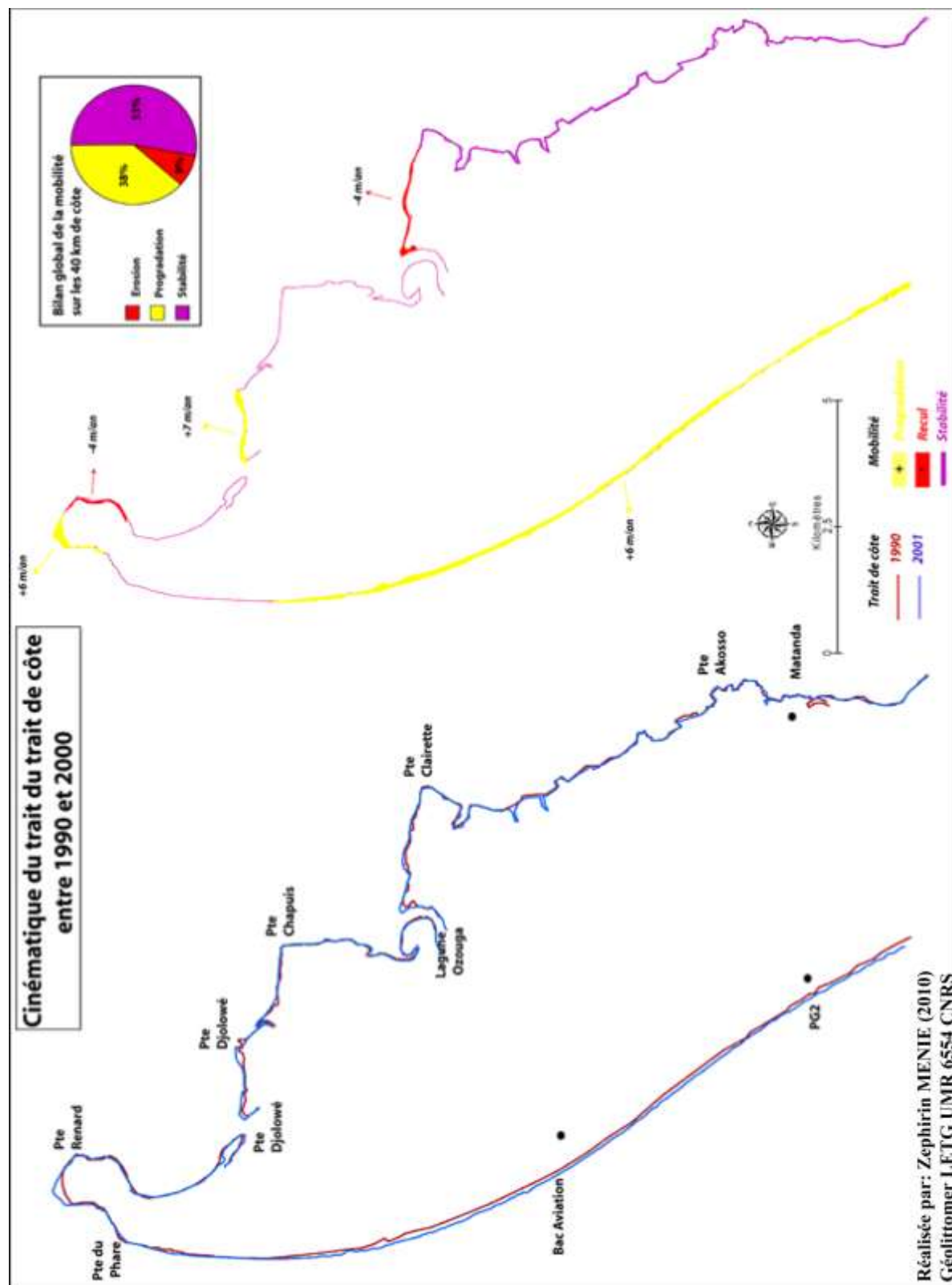
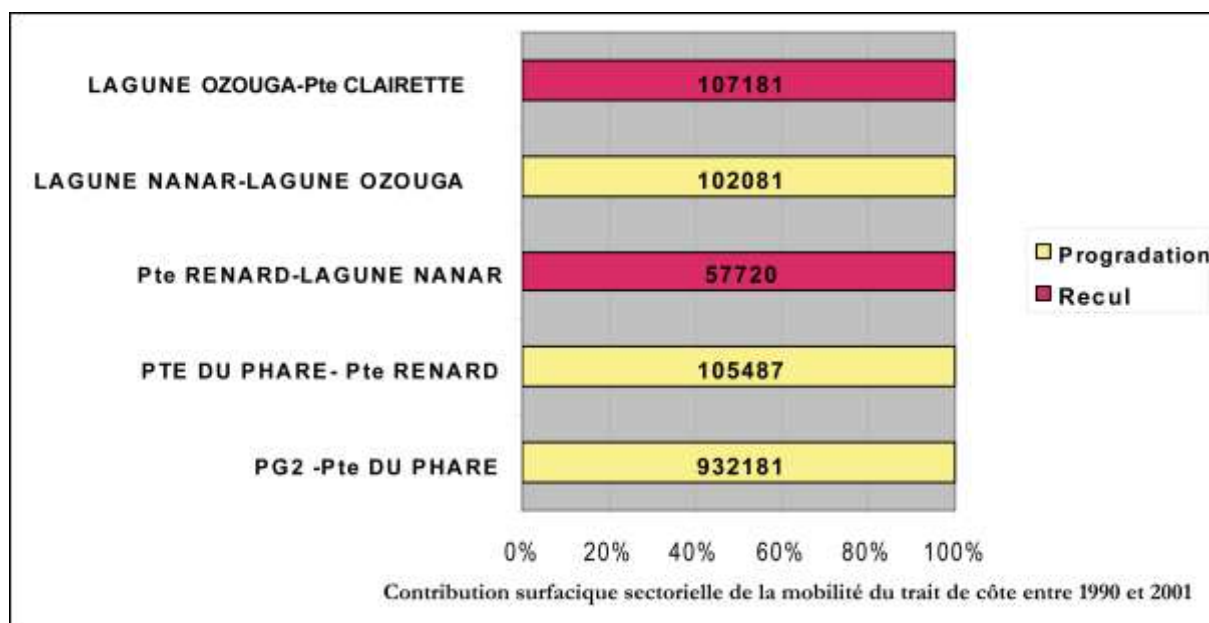


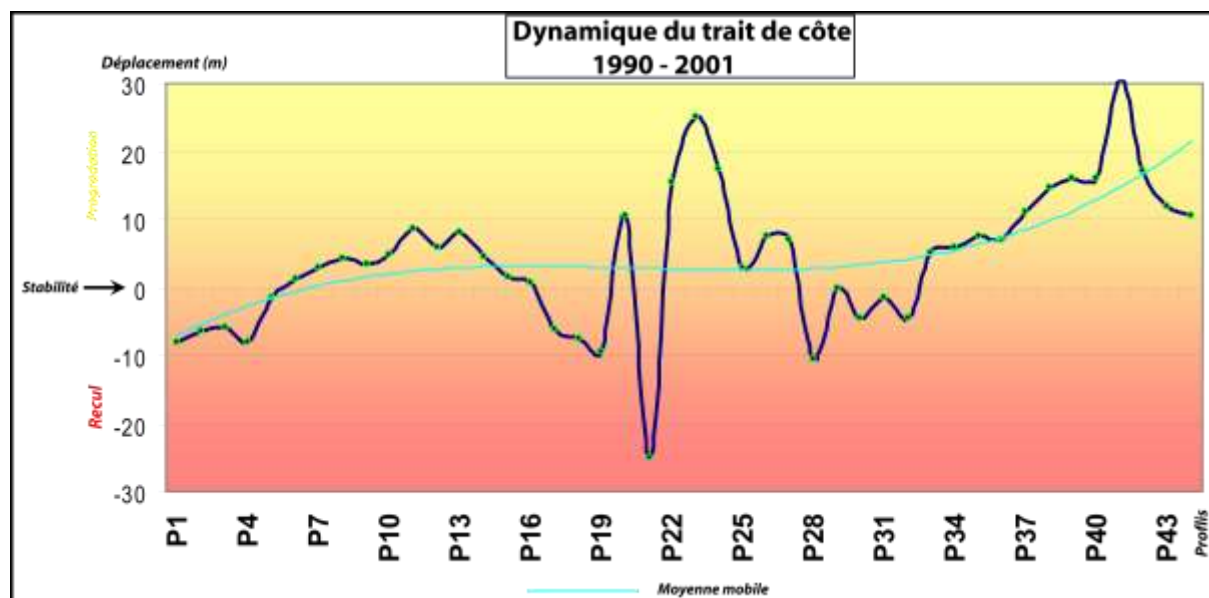
Figure 53: Cinématique du trait de côte entre 1990 et 2001

Le bilan sédimentaire surfacique (Graph.10), se solde par un bilan positif avec une stabilisation du trait de côte. Deux zones d'instabilités font exception à cette tendance et expriment ainsi une disposition au recul. Il s'agit entre autre des secteurs [Pte Renard-Lagune Nanar] et [Lagune Ozouga-Pte Clairette]



Graphique 10: Contribution surfacique de la mobilité du trait de côte entre 1990 et 2001

Le suivi des profils perpendiculaires au trait de côte révèle une tendance globale à la progradation (Graph.11). Les secteurs [P1-P13] et [P28-P44] sont en progradation, tandis que le secteur [P14-P27] se stabilise.



Graphique 11: Tendance globale de la cinématique du trait de côte entre 1990 et 2001

3.2.4-Bilan de l'approche globale de la cinématique du trait de côte entre 1962 et 2001

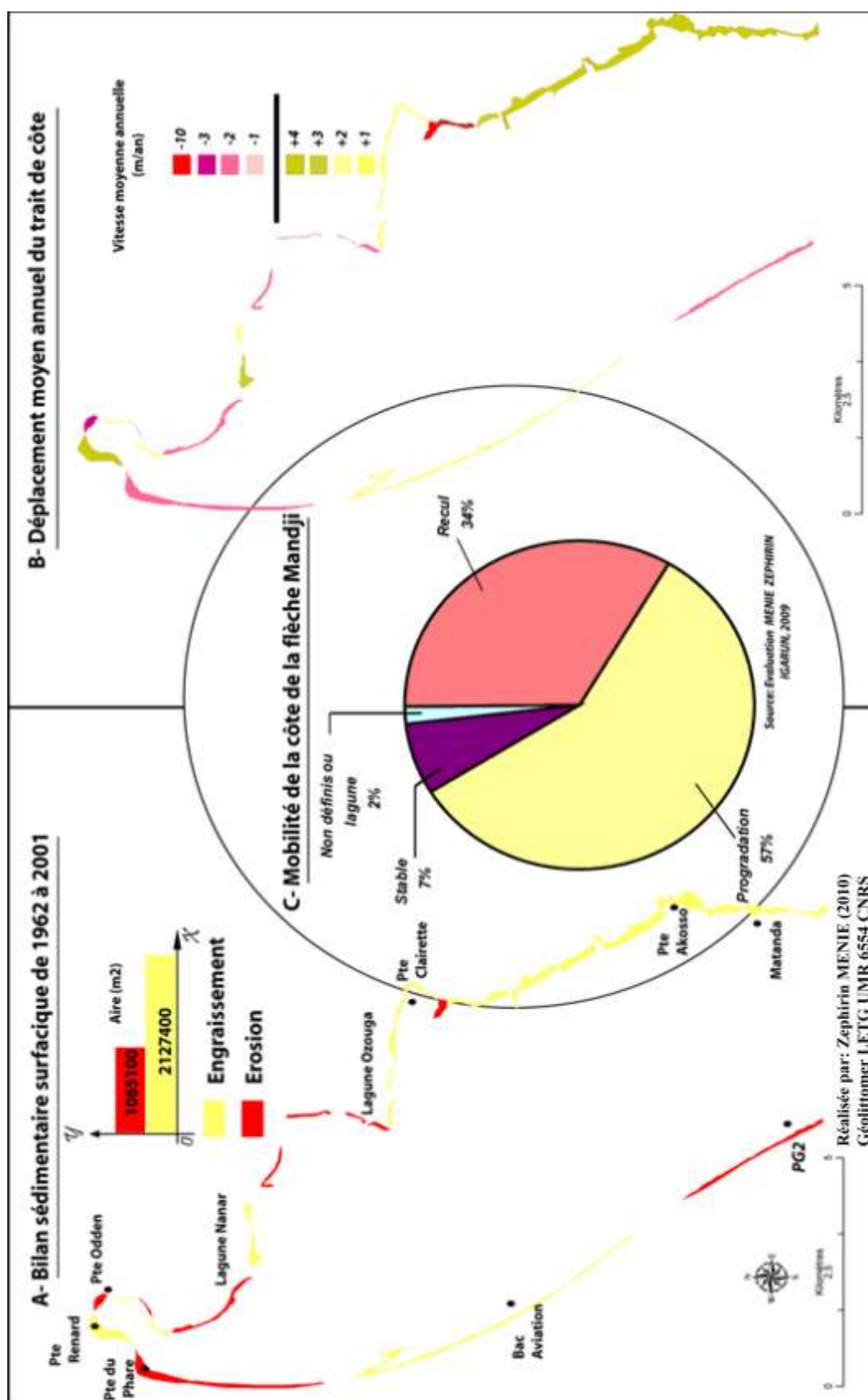


Figure 54: Synthèse du déplacement du trait de côte entre 1962 et 2001.

a) Accrétion - stabilité du trait de côte

La progradation et la stabilisation du trait de côte concernent 64% du linéaire côtier (fig.54c). Elles sont le fait des actions anthropiques. Il s'agit des aménagements de protection érigés le long du rivage dans le but de lutter contre les forçages naturels (houles, courants de surface), des opérations d'ensablement des plages et de poldérisation. Le front de mer de la ville de Port-Gentil, la pointe du Phare et la pointe d'Odden sont les plus concernés. Les secteurs de côtes couverts par une végétation supratidale à composante principale de steppe tropicale et de mangrove, connaissent une légère avancée ou une relative stabilité.

Aux actions anthropiques, s'ajoute l'envasement de la côte au niveau des embouchures des rivières côtières. On rencontre ce cas particulier au niveau de la côte de Matanda. La vitesse moyenne annuelle d'accrétion des estrans oscille entre +4 m et +1 m (fig.54b). Les vitesses maximales sont enregistrées dans le secteur de [Pte du Phare-Pte Renard] et le long du bord de mer de Port-Gentil.

b) Le recul du trait de côte

Elle est la résultante d'une érosion intense due aux forçages naturels. Il s'agit des houles de provenance SW et NW. En fonction de l'exposition du rivage par rapport à la trajectoire des trains de houles, les plages orientées NW-SE seront les plus vulnérables à ce phénomène. On note cependant que les côtes couvertes par une végétation intertidale arbustive résistent mieux face à cette avancée.

En somme, l'évaluation de la dynamique du trait de côte révèle des disparités à différents niveaux scalaires de la flèche Mandji. On retiendra que :

- (i) 34% des côtes reculent, soit une perte surfacique d'environ 1065100 m² entre 1962 et 2001 (fig.54c).
- (ii) l'extrémité septentrionale de la flèche est la plus touchée par le recul de la côte. Proportionnellement avec la dynamique de l'ensemble du littoral, le Cap Lopez compte à lui seul les 3/4 de la participation à l'érosion, soit environ 85%. La vitesse moyenne annuelle de recul de la côte dans le secteur [Bac Aviation-Pte Odden] est de -3 m (fig.54b).

L'approche globale de la cinématique du trait de côte pendant la période [1962-2001] permet de mettre en évidence trois temps forts de la morphogénèse de la flèche sur le court terme:

La phase composite [1962-1974] se caractérise par une alternance de recul et de progradation du trait de côte. Le contexte de recul est un fait naturel par contre la progradation enregistrée au

Cap Lopez et le long de la baie de Port-Gentil pendant cette période est le fait de l'aménagement des estrans. Les années 1958 et 1960 sont des dates charnières pour le développement de Port-Gentil et de son hinterland. La mise en place du terminal pétrolier et le début de l'urbanisation de la ville de Port-Gentil au lendemain des indépendances, sont incontestablement les éléments déclencheurs à l'origine de cette progradation.

La phase de recul [1974-1990] est une phase de transition marquée par une tendance au recul du trait de côte et qui est accentuée par le dragage du nouveau Port de l'OPRAG. Il convient de signaler que le processus de fixation du terminal pétrolier et de poldérisation du front de mer de Port-Gentil se maintient. Au niveau du Cap Lopez, la fixation du rivage par les épaves et les épis ne suffit pas d'où la reprise de l'érosion dans le secteur [Pte du Phare-Pte Odden].

La phase de reprise de la progradation et de stabilisation des estrans. La situation de recul de la période précédente a conduit à la mise en place et à l'extension des ouvrages de protection côtière de nouvelle génération (brise-lames, épis en palplanche, mur bétonnés) le long du linéaire côtier. La période [1990-2001] est caractérisée par un bilan surfacique sédimentaire positif. Le recul actuel du trait de côte reste ponctuel et est le fait de glissements saisonniers des plages (Pte Odden) et de la dynamique sédimentaire naturelle des bouches de lagunes.

La dynamique du trait de côte ayant été abordée dans sa globalité, on se propose donc d'affiner la quantification du déplacement à l'échelle du Cap Lopez.

3.3-APPROCHE SECTORIELLE DE LA CINÉMATIQUE DU TRAIT DE CÔTE : ZOOM SUR LE CAP LOPEZ

La mobilité du trait de côte a été l'objet d'un suivi régulier depuis 1957, date de l'installation du terminal pétrolier du Cap Lopez par la société SPAFE¹⁷. Les problèmes de recul de côte occasionnant des dommages sur les installations de la dite société se posaient déjà. Mais les premières mesures de fixation de cette extrémité de la flèche littorale se mettent en place en 1958. La récurrence, l'intensité du phénomène de recul, ont conduit à l'instauration d'un système de suivi régulier de la mobilité de ce littoral à partir de 1974 par la société pétrolière Elf Gabon, exploitant du site. Ces mesures sont pérennisées actuellement par la société Total Gabon.

Les données fondamentales pour la compréhension de la cinématique du littoral entre 1974 et 2007 permettent, d'une part, de déterminer la vitesse de déplacement et de déduire la tendance globale de mobilité, et d'autre part, d'en établir le bilan sédimentaire. Il sera fait en parallèle, un bilan chronologique des ouvrages de protection côtière installés le long du contour de la flèche.

¹⁷ SPAFE : Société Pétrolière de l'Afrique Equatoriale Française

3.3.1- Données et méthode de quantification

Le trait de côte pris comme référence est "**la courbe +2m**". C'est une isobathe représentant localement la **laisse de pleine mer**. Le suivi de cette courbe dite +2m consiste à lever 37 profils répartis en 8 zones autour du Cap Lopez (Annexe A2.). Le découpage de la côte en section et profils est inspiré du rapport Elf Gabon (1976). La campagne de mesure ayant débuté en 1974 ne concerne que les 8 sections. Depuis 1986, elle a été étendue à la zone Sud du phare.

Un profil est déterminé par un point fixe de la côte et par une direction. Un levé consiste à mesurer la distance entre la station de référence et la laisse de pleine mer selon une direction donnée.

Chaque année, le levé de la laisse +2 m est effectué chaque trimestre, en janvier, avril, juillet et septembre par les techniciens de la DAP¹⁸. Les bilans annuels sont faits sur les mesures de septembre ou octobre, en effet, c'est pendant cette période que l'on enregistre les reculs les plus extraordinaires du trait de côte et donc représentatifs des situations les plus critiques.

Pour chaque profil les résultats se présentent comme suit :

- Une courbe d'évolution annuelle du littoral sur la base des mesures de septembre. Elle correspond à l'évolution de la distance séparant la courbe +2m et le point origine 0 est considéré comme un repère fixe.
- une courbe d'évolution de la moyenne mobile sur cinq ans. Cette courbe de tendance permet de lisser les fluctuations passagères et d'avoir un aperçu global de la cinématique du trait de côte.

Les courbes déduites des mesures sont représentées en annexe A.

3.3.2- Levé sectoriel de la courbe +2m

a) Zone Sud du phare

C'est la zone la plus au Sud du phare du Cap Lopez, située en arrière de la lagune *Nanar* (fig.55). Cette section non aménagée s'étend sur 3 km environ de côte, subit les assauts des agents météo-marins et qui par temps de recul de la côte menace la route qui relie le terminal avec la ville de Port-Gentil.

Les premiers relevés ont commencé en 1986 et concernent six profils.

¹⁸ DAP : Direction des Activités Pétrolières



Figure 55 : Profils de suivi de la courbe +2 m, zone Sud du phare
(Spot Image cat. ID= 101001001COFE01, 29/03/2003)

Résultats

La dynamique globale entre 1986 et 2007 révèle un recul général du trait de côte, compris entre -9 m et -15 m pour la section comprise entre [P92-P95]. Seul le profil 96, situé à l'extrémité Sud du secteur analysé enregistre une avancée de la côte de +4 m. Les graphiques de ces profils sont illustrés en annexe A.

Pour chaque profil, on note les observations suivantes :

Profil 96 : progradation de 4 m d'octobre 1986 à octobre 2007. Depuis 1991, ce profil évolue entre les cotes 130 m et 140 m, avec des variations annuelles limitées à quelques mètres, excepté pour l'année 1996 marquée par un recul important. La moyenne mobile de la courbe +2 m montre une alternance de phase de recul et d'avancée de la côte tous les cinq ans, la tendance actuelle étant au recul ;

Profil 95 : recul de -11 m entre octobre 1986 et octobre 2007. Ce profil a connu deux grands épisodes de son évolution :

-[1986-1995] correspond à une période de progradation optimale de la côte. On enregistre une avancée de +120 m par rapport à la période précédente.

- [1996-2007] correspond à une période de recul du trait de côte. Comme pour le profil précédent, l'année 1986 est une année de recul extrême. La position actuelle du trait de côte est quasi identique à celle de 1987.

Profil 94 : le bilan sédimentaire de la côte entre la situation de 1986 et celle de 2001 se solde par une perte de -15 m de côte. L'année 2006 constitue une situation extrême de recul de la côte jamais enregistré depuis 1986. Depuis 1988, après l'engrèvement important observé, ce profil varie de quelques mètres avec une tendance globale au recul.

Profil 93 : recul de -9 m par rapport à la situation de 1986. On observe une précision de la disposition au recul entre 2006 et 2007.

Profil 92 : recul de -12 m entre 1986 et 2007. Soit une moyenne de -2 m par an.

Profil 91 : recul de -15 m entre octobre 1986 et octobre 2007. Comme pour le profil précédent, la dynamique est irrégulière, mais la tendance au recul semble se confirmer depuis 1995.

b) Zones A

La zone A est située au Sud du phare du Cap Lopez. Les premiers relevés ont commencé en 1974. Cinq profils couvrent cette zone. Il s'agit des profils 87, 86, 85, 848 et 1B (fig.56)



Figure 56 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone A

C'est une section de côte assez sensible du fait d'une érosion intense et régulière proche de la route d'accès au terminal pétrolier. Cette situation préoccupante a contraint la société Elf Gabon à protéger cette section par la mise en place au printemps 1999 d'un brise-lames. Cette protection est centrée au droit du profil 85, considéré comme étant la zone la plus critique. Cet ouvrage est une suite de trois tronçons de 65 m de longueur.

Résultats

Profil 87 : recul du trait de côte de -30 m entre 1974 et 2007. La vitesse moyenne annuelle de régression est de 1 m/an. Deux temps forts marquent l'évolution de ce profil : une régression du trait de côte entre 1979 et 1987, suivi d'une stabilisation de celui-ci entre 1988 et 2007.

Profil 86 : recul de -34 m entre 1974 et 2007. Comme pour le profil précédant, la tendance entre 1988 et 2007 est à la stabilisation de la côte.

Profil 85 : recul de -40 m par rapport à la situation de 1974. Depuis 1999, date de la mise en place des brise-lames au droit de ce profil, on assiste à une inversion de tendance qui se matérialise par une stabilisation de la côte.

Profil 848 : il enregistre un recul de -80 m entre la position de 1974 et celle de 2007. La tendance au recul observée depuis 1974 semble s'inverser depuis la mise en place des brise-lames autour du phare.

Profil 1B : on note une différence de -129 m entre la position de 1974 et celle de 2007. Ce profil non protégé par les brise-lames subit de plein fouet l'action des agents météo-marins.

En somme, l'évolution de la courbe +2 m (Annexe A2) sur l'ensemble de la zone A révèle deux grandes tendances. Une régression de -4 m/an en moyenne pendant la période [1974-1987], suivi d'une stabilisation entre [1988-2007]. Soit un recul de 60 m en moyenne pour l'ensemble des profils par rapport à la situation de 1974.

Cette stabilité relative exprimée par le dernier pan de la courbe trouve son explication par les différents travaux de protection entrepris par la société Elf Gabon entre 1988 et 1999 afin de protéger la route L123, qui à cette époque était sérieusement menacée par l'érosion côtière (Photo 10).

Le recul du profil 1B observé provient de la destruction par les vagues du mur de protection construit en 1999.



Profil 1B le 12 Septembre 1999 (Elf Gabon, 1999)



Profil 1B le 9 Juin 2007 (Menie, 2007)

Photo 10 : Situation de la plage au Sud du phare en 1999 et de 2007

c) Zones B

La zone B couvre la pointe du phare et s'étend à un peu plus de 500 m vers la tête du canyon (fig.57). Les premiers relevés datent de 1974. Tout comme la zone précédente, elle fait l'objet d'un suivi régulier à cause d'une érosion persistante et de la proximité des installations pétrolières de Total Gabon.

Cinq profils permettent d'évaluer la dynamique de la courbe +2 m entre 1974 et 2007. Il s'agit des profils : 6Ter (N, NW, W), 11A, 17.



Figure 57 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone B
(Spot Image cat. ID= 101001001COFE01, 29/03/2003)

Résultats

Profil 6 Ter W: de 1974 à 2007, le trait de côte a reculé de 175 m. la vitesse de recul entre 1974 et 2000 est de 6 m/an. Cependant cette disposition est réduite de moitié entre 2000 et 2007. Ce renversement de situation est attribué aux ouvrages de protection mis en place entre 2000 et 2001 de part et d'autre de ce profil.

Profil 6 Ter NW : la disposition au recul observé sur le profil 6 Ter W concerne également ce profil. Cependant on note une différence de vitesse de recul avec le précédent de 2 m/an. Cette différence de vitesse serait en lien avec la disposition de la côte face aux agents météo-marins en jeu dans le secteur.

Profil 6 Ter N : le recul du trait de côte touche également ce profil avec une vitesse de 4 m/an.

Profil 11 A et 17 : on assiste le long des deux profils à une stabilisation du trait de côte. Cette situation résulte du fait que les deux profils se situent dans la section protégée par un brise-lame (profil 11A) et par le mur dit « Saout » (profil 17).

Globalement, entre 1974 et 1986, on note une légère régression suivi d'un retour à la stabilité du trait de côte jusqu'en 1998. Cette stabilité de la plage est illustrée par la couverture végétale de la

zone supratidale et le positionnement du phare à plus de 50 m de la limite supérieure de la plage (fig.58).



Evolution de la zone B (Elf Gabon, 1999)



Situation actuelle profil 6 TER (Menie, 2007)

Photo 11 : Vue de la zone B en avant et après 1999

A partir de 1999, seule la zone protégée par le mur « Saout » résista à un recul sans précédent du trait de côte (profils 17 et 11). Une érosion de grande ampleur détruira le cordon dunaire, les habitats et la stabilité du phare (Photo.11). Cette situation critique justifie la construction des brise-lames en 1999, 2000 et puis 2001. Malgré ces actions, les espaces laissés entre les ouvrages subissent encore de plein fouet les actions marines. D'où la situation des profils 6TER en 2007.

d) Zones C

Elle constitue la partie externe de la tête du canyon (fig.58). Longue de quelque 900 m elle s'étend du mur « Saut » à la pointe Renard. Cette zone est suivie par cinq profils : 22 bis, 25, IV, VA et 42A.

Cette zone bénéficie d'un suivi régulier du fait de la présence d'un canyon. La dynamique naturelle du canyon a des conséquences directes sur la fixation du trait de côte et constitue une menace sérieuse pour « le village des pêcheurs » et les installations de Total Gabon.



Figure 58 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone C
(Spot Image cat. ID= 101001001COFE01, 29/03/2003)

Résultats

Profil 22 bis : la côte a reculé de -40 m de l'année 1974 à 2007. Ce recul est effectif malgré la présence du mur dit « Saout » qui semble t-il a du mal à contenir l'énergie des vagues qui viennent s'échouer sur cette plage. La dynamique interannuelle est marquée par une alternance de deux phases d'accrétion suivie de deux phases de recul.

Profil 25 : on enregistre un recul de -76 m au cours des 33 ans de mesures de la dynamique de la courbe +2 m. La dynamique d'ensemble du trait de côte est quasi similaire à celle du profil 22bis à quelques variantes près.

Profil IVA, VA et 42A : globalement on note une tendance au recul de la côte. Cependant, on observe des variations cycliques qui donnent une allure sinusoïdale à la courbe de moyenne mobile sur cinq ans.

On retient que la zone C évolue de façon cyclique avec une période de retour tous les dix ans. Le cycle correspond à une alternance de deux phases : une accrétion suivie d'une régression du trait de côte. Cette évolution a un lien avec la dynamique de la tête d'un canyon sous-marin qui s'opère par érosion régressive de son axe principal.

e) Zones D

La zone s'étend de la pointe Renard jusqu'à l'extrémité Ouest du Cap Lopez (fig.59). La mobilité du trait de côte entre 1974 et 2007 est suivie à travers deux profils : 44A, et 6.



Figure 59 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone D
(Spot Image cat. ID= 101001001COFE01, 29/03/2003)

Résultats

Profil 44A : ce profil connaît la même dynamique que ceux de la zone précédente. On assiste à une alternance de phases d'accrétion suivi de phases de recul. La moyenne mobile sur cinq ans de la courbe +2 m fait penser à une évolution cyclique par période de 15 ans.

Profil 6 : on note une accrétion régulière du trait de côte depuis 1978 avec une position optimale atteinte de 183 m en 2001. Depuis octobre 2003, on assiste à une inversion de cette tendance avec une vitesse de recul de 5 m/an.

La période [1974-2003] est marquée par une accrétion. Depuis 2004 on enregistre un début de recul. Trois éléments contribuent fortement à l'extension de cette zone :

- Un important transit sédimentaire en provenance du Sud,
- Construction entre 1958 et 1967 d'un champ d'épis en bois le long de ce tronçon côtier,
- Une faible exposition de la côte face aux éléments météo-marins (position à l'abri des houles de provenance SW) du fait de la présence du canyon,
- La présence du banc du Loiret crée une condition idéale pour la sédimentation de la zone.

f) Zones E

Elle couvre le secteur situé entre le Nord de la pointe Renard et le Sud de la pointe Odden (fig.60). Elle concerne la plage qui circonscrit « le village des pêcheurs » situé à l'extrémité septentrionale de la flèche Mandji.

A travers cinq profils on effectue un suivi de la dynamique de la courbe +2m depuis 1974.

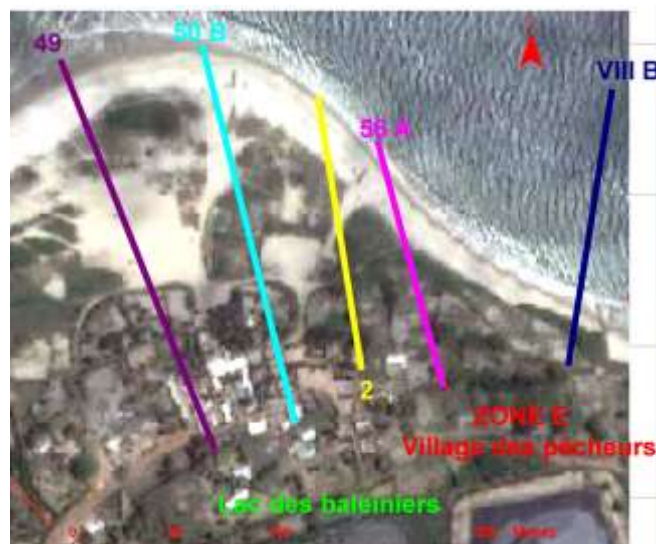


Figure 60 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone E
(Spot Image cat. ID= 101001001COFE01, 29/03/2003)

Résultats

Profils 49, 50B, 2 et 56 A : la tendance générale en termes de moyenne mobile à cinq ans est l'accrétion de la côte depuis 1977.

Profil VIII B : ce profil fait exception dans ce secteur d'où l'on enregistre une stabilité relative avec une disposition au recul du trait de -5 m entre 1974 et 2007.

L'aperçu global de la dynamique de la courbe +2m entre 1974 et 2007 révèle deux phases caractéristiques de l'évolution de cette côte. Une première phase marquée par une relative stabilité côtière pendant la période [1974-1987], et une seconde phase d'accrétion du littoral de 1988 à 2007. Cette évolution a un lien avec les campagnes d'engraissements des plages en sable par la construction des épis entre 1963 et 1972 (photo 12).



Photo 12 : Vue aérienne du champ d'épis au nord de la pointe Renard (série de 1968)

g) Zones F et G

C'est la section de côte située entre la pointe Odden et le quai des Chalands. Au niveau de la zone F, Le rivage est quasi stable depuis une vingtaine d'années (fig.61). Le champ d'épis semble bien jouer pleinement son rôle de pourvoyeur de la plage en sédiments. Les profils CD3, A68D, A68E et 71A permettent de restituer la cinématique de cette zone entre 1974 et 2001.

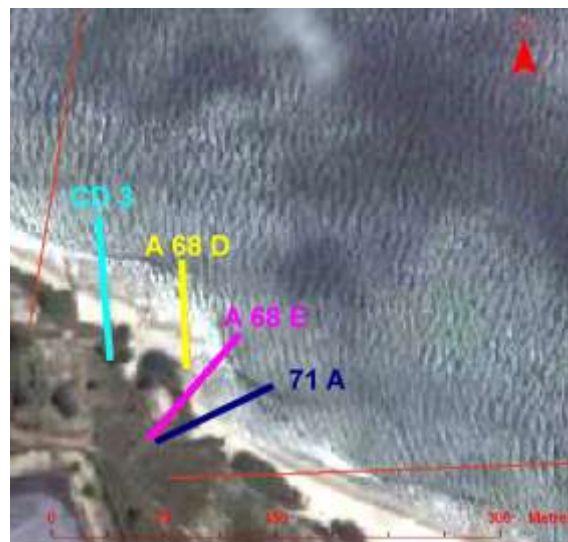


Figure 61 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone F
(Spot Image cat. ID= 101001001COFE01, 29/03/2003)

Le secteur G englobe toute la pointe Odden et une la partie Nord du Quai des Chalands. L'analyse statistique de la dynamique côtière depuis 1974 (fig.62) est faite à partir des relevés des profils 71.6B, 71.3, 71.2, 71.4 et 71.5C.

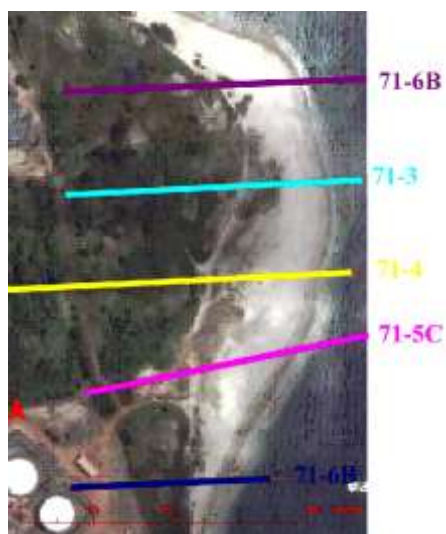


Figure 62 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone G
(Spot Image cat. ID= 101001001COFE01, 29/03/2003)

De prime abord il convient de signaler que la zone G connaît une instabilité du linéaire côtier qui se matérialise par des glissements régulier de la plage par temps de forte tempête. Les différentes positions occupées par le trait de côte entre 1958 et 2003 en témoignent (fig.63). On retient tout de même une légère accrétion entre 1974 et 2007 avec des cycles de recul et d'avancée de la côte.



Figure 63 : Zones F et G. représentation des positions successives du trait de côte entre 1958 et 2003

Résultats

Les profils A68 révèlent dans un premier temps une avancée de 100 m entre 1974 et 1978 (d'où une vitesse moyenne de 35 m/an), et dans un second temps, un recul de 150 m entre 1980 et 1984 (d'où une vitesse moyenne de 37 m/an). Entre 1985 et 2007, la côte n'a quasiment plus bougé;

Les profils 71.1 et 71.2 indiquent une tendance au recul sur l'ensemble de la période concernée par le suivi. On enregistre en moyenne une vitesse de régression de la côte de l'ordre de 3,5 à 4 m/an ;

Les profils 71.3 et 71.5C, se distinguent par deux grandes phases évolutives : une période de stabilité [1974-1979], suivi d'une alternance de recul et d'avancée de la côte [1992, 1998 et 2005] correspondant aux nombreux glissements de terrain élucidés dans la présentation de la zone étudiée.

On retient que l'évolution du rivage, se fait par des glissements des estrans comme en témoigne La carte du bilan de la mobilité de la courbe entre 1974 et 2007 (fig.64). On observe les positions successives prises par le trait de côte de 1958, 1971, 1984, 2003 et la migration du bourrelet littoral.

Le tracé de 1971 est consécutif à un glissement de grande amplitude; les évolutions successives montrent une accumulation du bourrelet essentiellement par progression rapide vers le Sud, cependant son attache Nord migre lentement vers le Sud. Il s'ensuit une importante régression du trait de côte à partir de 2005 illustrée par les profils 71.3 et 71.2, suite à un glissement de grande ampleur de la pointe Odden.

Enfin au niveau du profil 71.6, on observe une évolution régulière orientée vers l'avancée du trait de côte. La vitesse de progression est de l'ordre de 1,3 m/an en moyenne en 1974 et 2007.

3.3.3-Synthèse de la dynamique de la courbe +2m

La cartographie de la cinématique de la courbe +2m entre 1974 et 2007 illustrée par la figure 64 permet de tirer les informations suivantes :

- La mobilité de la côte ne se fait pas de manière homogène sur l'ensemble du littoral. Les zones Sud, A, B, C et F connaissent un recul de la côte, tandis que les secteurs D, E et G connaissent un engraissement,
- La façade Ouest du littoral est la plus touchée par le processus de recul de la côte avec un recul optimal de -175 m en moins de 33 ans de lever.

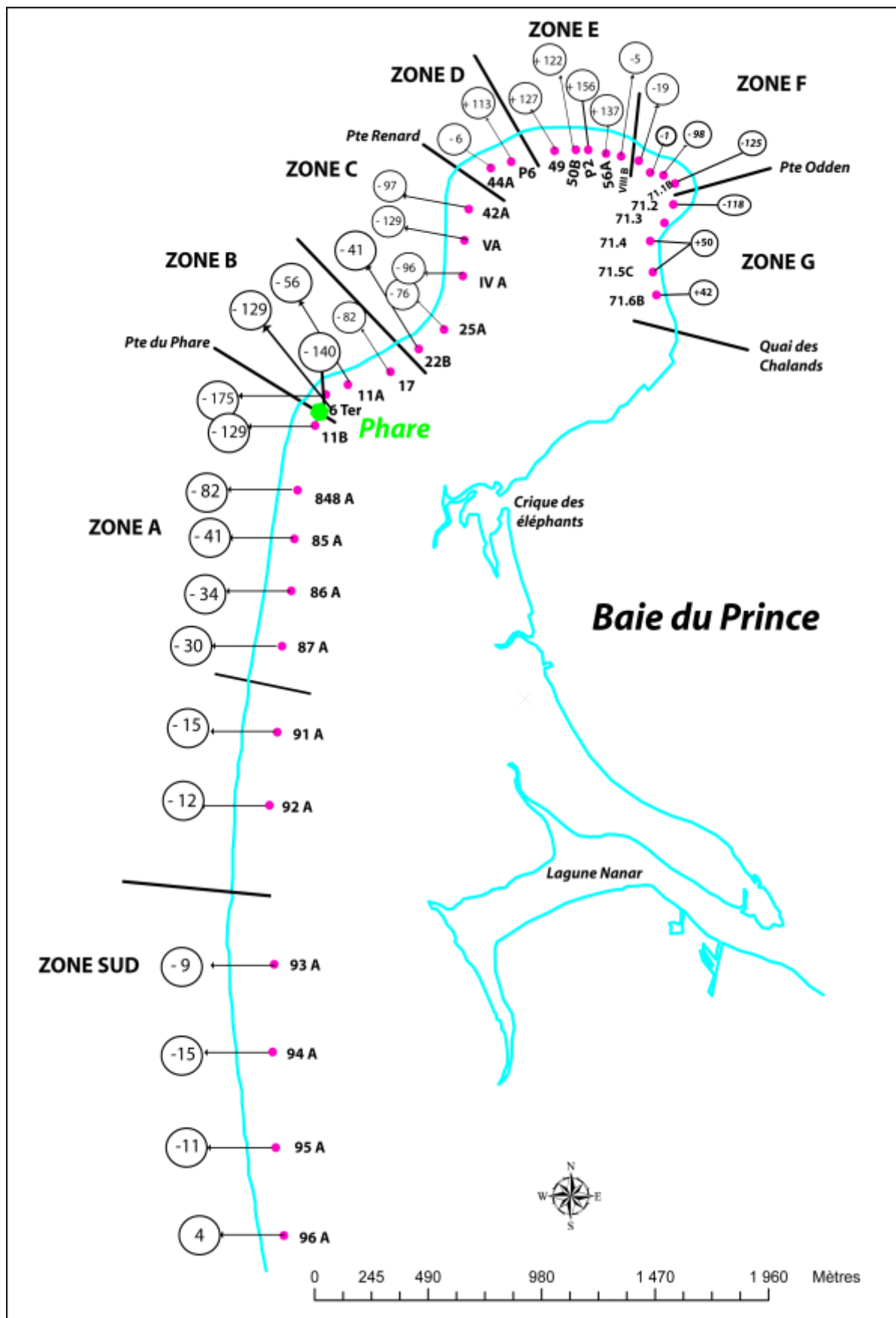


Figure 64 : Bilan de la cinématique de la courbe +2 m de 1974 à 2007

3.4- IMPACT DES OUVRAGES DE PROTECTION CÔTIÈRE SUR LA CINEMATIQUE DU TRAIT DE CÔTE DE 1958 À 2007

Le bilan sédimentaire vient en complément des résultats issus des mesures précédentes traitant de la dynamique du trait de côte. Cette approche nous permet en dehors de l'analyse statistique issue des mesures topographiques de prendre en compte la contribution des aménagements de protection de la côte.

Sur la base de plusieurs cartes topographiques multi-dates, on reporte les positions annuelles du trait de côte pour la période allant de 1958 à 2007. La cartographie de la dynamique du trait de côte d'un temps T à T_n (avec $T_n > T$) fournit deux types d'informations : D'une part les tracés de deux lignes de côtes de référence et d'autre part le bilan sédimentaire incluant l'apport des aménagements côtiers. Ce dernier est schématisé soit par une couleur jaune pour indiquer la présence d'une zone d'engraissement, soit par la couleur rouge pour l'érosion. La représentation des ouvrages permet de faire le lien avec le résultat obtenu et d'apprécier l'impact de ces aménagements côtiers.

Pour faciliter la description des évolutions, on s'aidera du découpage par zones et profils utilisés précédemment (fig.64).

Les cartes ne représentant la situation qu'à un instant donné, elles ne permettent pas de faire apparaître les variations saisonnières. Il faudra donc voir en parallèle l'historique des événements majeurs qui ont marqué la dynamique de la côte pour appréhender aisément ce bilan.

3.4.1-Période de 1958 à 1968 (fig.65)

Dès 1958, date du début des activités pétrolières, le littoral est fixé et stabilisé par les épaves et les épis. La campagne de mesures s'est focalisée prioritairement au niveau de la façade Ouest (zone du phare) et dans la zone comprise entre la pointe Odden et le quai des Chalands.

L'ouverture du cordon ceinturant le lac des baleiniers, à la suite d'une grosse tempête, est à l'origine de la mise sur chantier d'un vaste champ d'épis qui couvre toute la façade Ouest jusqu'à la pointe Odden. L'objectif étant de contrer le recul de la côte et favoriser la fermeture du lac par un engraissement du cordon.

Comme le montre la figure 65, la mise en place des épis et des épaves le long du secteur [C-D-E] a non seulement freiné l'érosion du secteur [D-E], mais en plus, a favorisé l'engraissement massif du secteur [C-D].

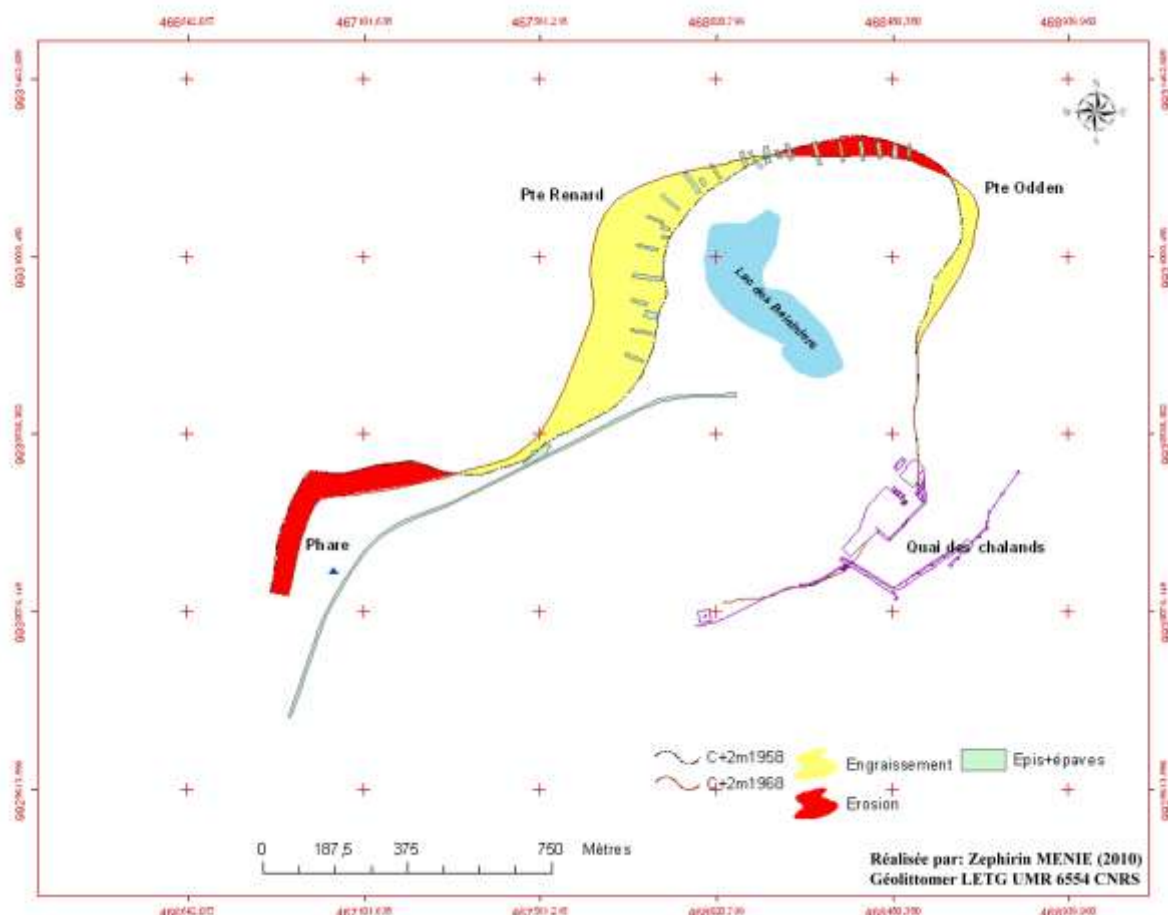


Figure 65 : Rapport [Dynamique sédimentaire/ Aménagement côtier] de 1958 à 1968 (Menie, 2007)

On remarquera que la zone [A-B] sans intérêt majeur à cette époque ne bénéficie pas de la vaste campagne de stabilisation et de protection engagée par la société pétrolière. D'où l'intensification de l'érosion observée.

3.4.2-Période 1968-1976 (fig.66)

On enregistre un engraissement du secteur [C-D] et une extension de la zone E. Au niveau des sections [A-B], l'érosion se cantonne dans la zone du phare et avec une légère baisse en intensité. En Juillet 1971, a lieu le premier grand glissement de la pointe Odden, emportant 3 millions de m³ de sédiments. Suite à cet effondrement et en souvenir de la rupture de la digue du lac des Baleiniers en 1968, Elf Gabon érigea en 1973 un mur pour contenir une éventuelle attaque dans les secteurs [E-F-G].

Au niveau de la tête du canyon, on fixe le rivage par une épave de bateau du nom d'Avanga. Cette aménagement favorisa une sédimentation de la section B. la courbure décrivant la tête du canyon tend à se rectifier, témoignant ainsi l'efficacité des épaves à sédimenter cette partie du littoral.

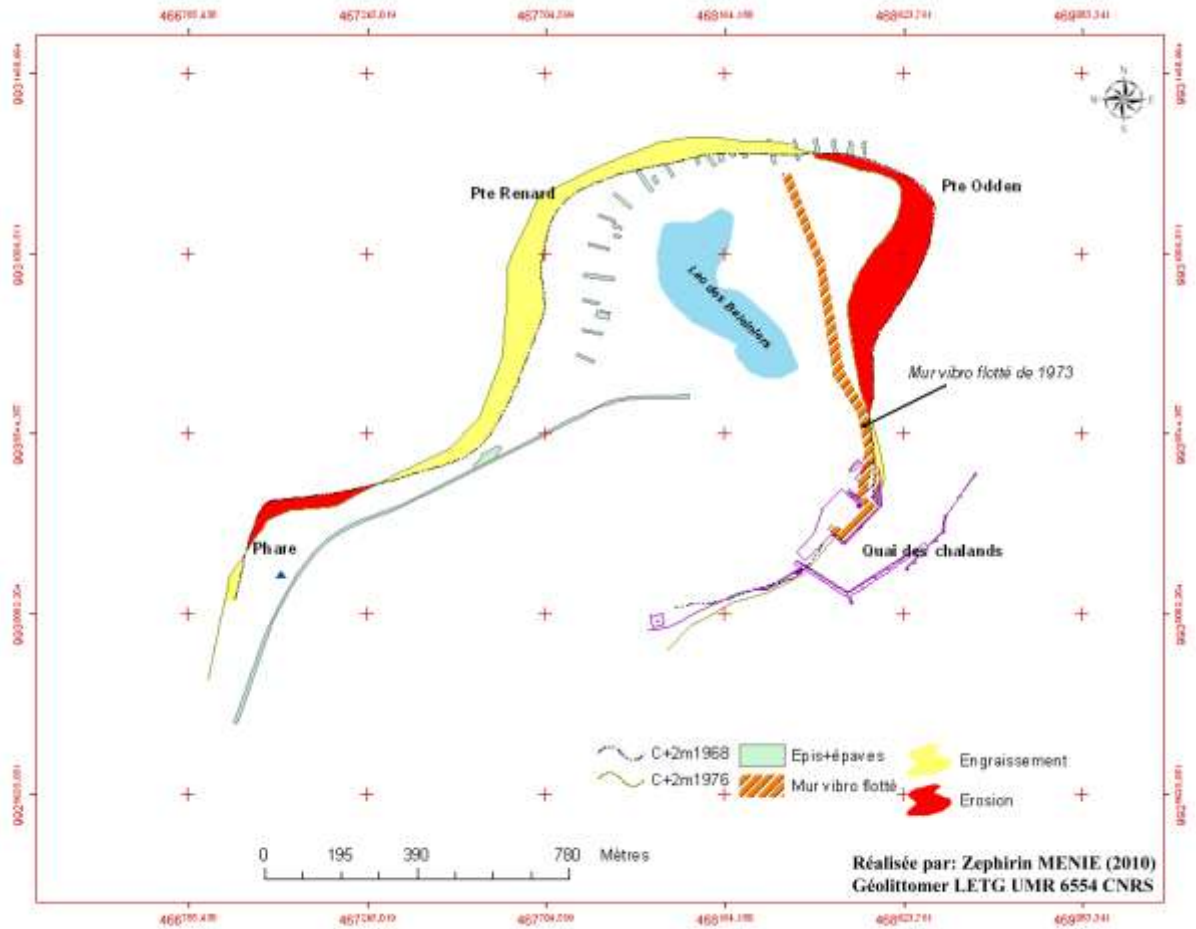


Figure 66 : Rapport [Dynamique sédimentaire/ Aménagement côtier] de 1968 à 1976 (Menie, 2007)

En dépit de l'extension de l'érosion par glissement de la côte, le bilan des épis et des épaves reste positif, par la stabilité et du fait de l'avancée qu'ils impulsent.

3.4.3-Période 1976-1987 (fig.67)

De la pointe Renard, jusqu'au quai des Chaland on observe globalement une disposition à l'engraissement des plages. Cependant, on note un léger glissement au Nord de la pointe Odden en 1979. Evènement que l'on qualifie d'épiphénomène au vu de la dynamique d'ensemble du secteur.

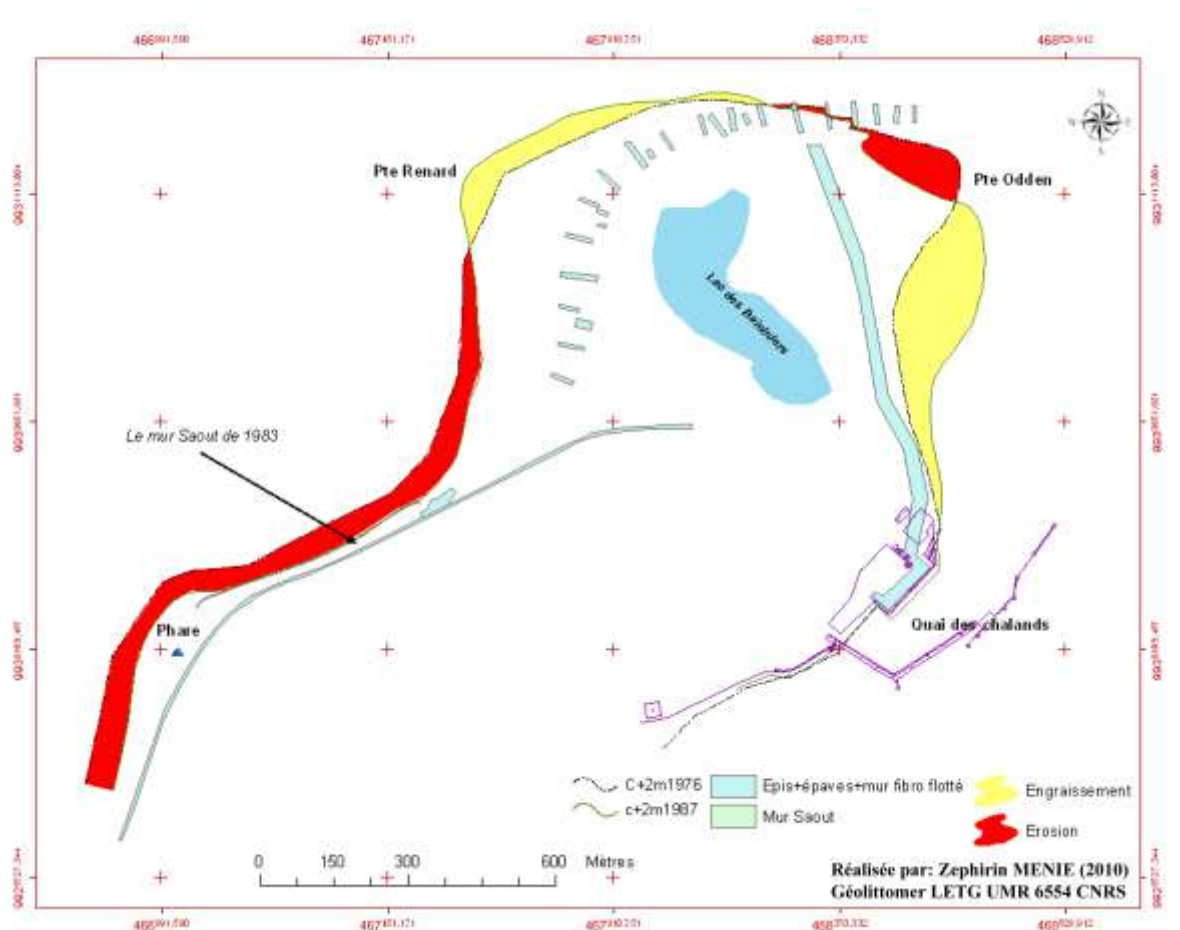


Figure 67 : Rapport [Dynamique sédimentaire/ Aménagement côtier] de 1976 à 1987 (Menie, 2007)

La situation de la côte en 1979 s'apparentant à celle de 1971 (avant glissement), et par le principe de précaution, ELF GABON (actuelle TOTAL GABON) entreprendra un dragage des pentes, par anticipation de l'avènement d'un nouveau glissement.

De l'autre côté de la façade Ouest, le phénomène de recul de la côte prend de l'ampleur. L'érosion de la pointe du phare s'intensifie et se généralise aux zones adjacentes (Sud du phare et zone C).

Le recul de la côte Ouest reste constant pendant cette période. La route d'accès au terminal est coupée et la mer est proche des pipelines qui longent la plage.

La menace d'un enclavement du terminal pétrolier, justifie la construction d'un mur en béton dit « Saout » en 1983, le long du secteur au Nord du phare.

L'intensification de l'érosion au niveau du secteur B est attribuée à un recul par érosion régressive de la tête du canyon et explique la forme concave de cette plage.

3.4.4-Période 1987-2002 (fig.68)

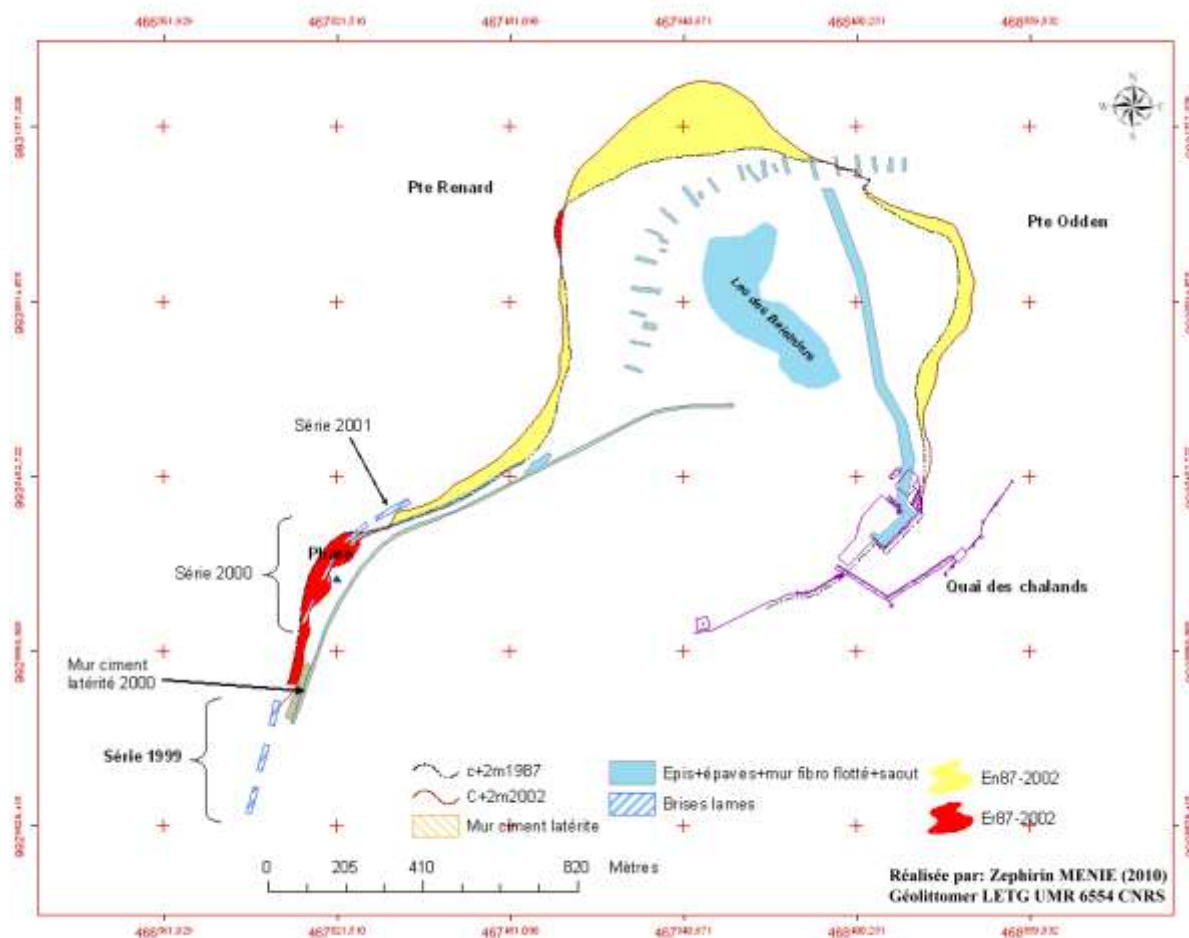


Figure 68 : Rapport [Dynamique sédimentaire/ Aménagement côtier] de 1987-2002 (Menie, 2007)

L'engraissement rapide de la pointe Odden conduit à de nouveaux glissements en 1992 et en 1997 ($\approx 500\,000\text{ m}^3$). Cependant, la tendance à l'engraissement semble se maintenir dans les secteurs [D-E-F].

Le mur « Saout » a freiné le recul de la tête du canyon et la dynamique actuelle semble à l'avancée de la côte.

Face à une érosion persistante au niveau du phare, on procéda à une mise en place de trois séries de brise-lames (1999, 2000 et 2001) et un mur en ciment latérite.

3.4.5-Période 2002-2007 (fig.69)

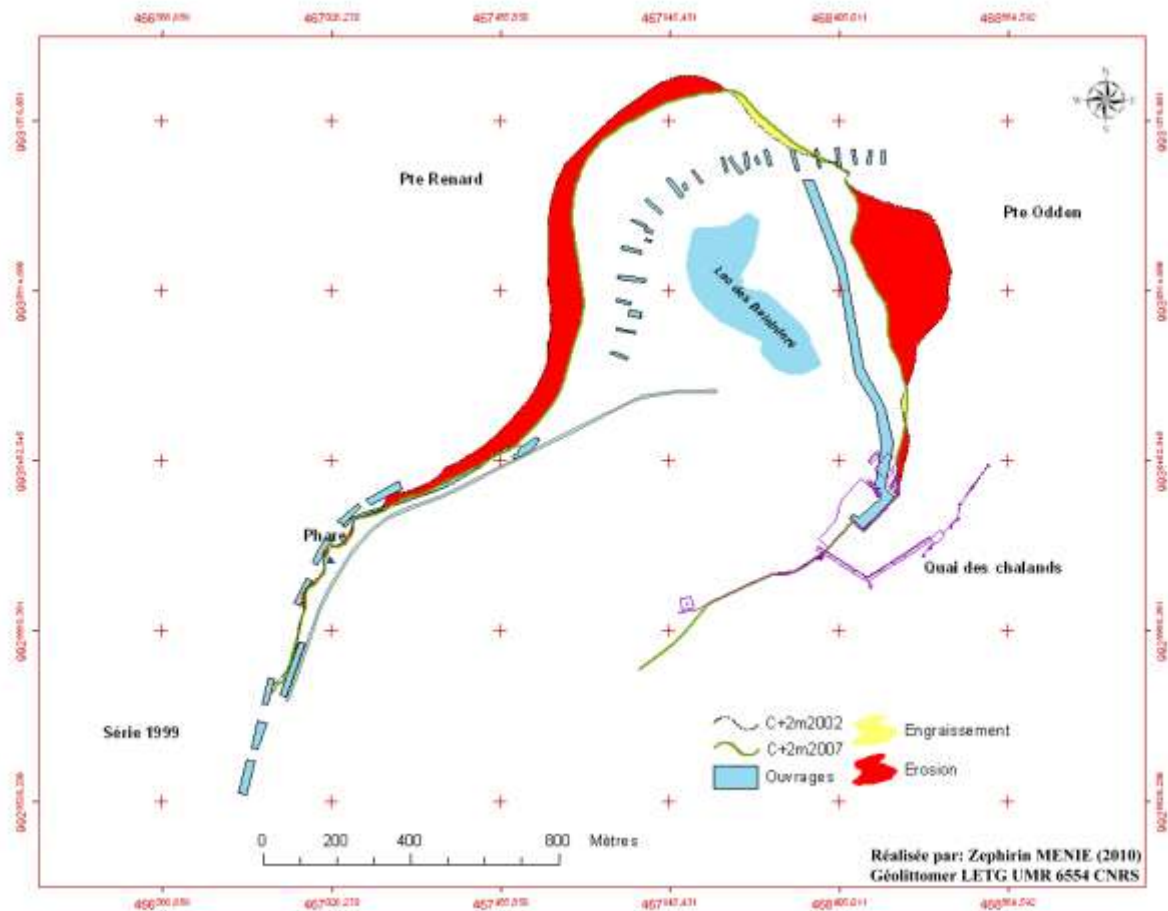


Figure 69 : Rapport [Dynamique sédimentaire/ Aménagement côtier] de 2002-2007 (Menie, 2007)

On assiste de nouveau à un glissement de grande ampleur à la pointe Odden en Juillet 2005 (2.5 millions de m³). A signaler aussi, un enchaînement de petits glissements au niveau du quai des Chalands (< 100 000 m³, en 2004, 2006 et 2007).

On constate un ralentissement de l'érosion autour du phare grâce aux protections, avec la formation des tombolos.

Le fait marquant est le retour de l'érosion au niveau des secteurs [B-C-D]. Cette partie de la côte exposée devient de plus en plus vulnérable aux actions marines.

La campagne de stabilisation de la côte (1958-1968) par des épis et des épaves s'est soldée par une extension assez importante du rivage. Le gain de terrain obtenu est limité à la zone aménagée par les ouvrages de défense côtière. (Nord du Phare – pointe Renard). L'efficacité des épis a été prouvée pour la zone CD. Entre 1968 et 1987, la flèche ne croît plus. Les épis n'assurant plus leur fonction une phase régressive de la côte va s'amorcer.

Les murs vont stopper la régression de la côte en servant de rempart contre l'énergie des éléments météo-marins (la houle, les vagues, le courant), mais ne contribueront pas à son

engraissement. L'érosion constatée pendant cette période est liée en grande partie à la dynamique des fonds marin à savoir :

- Régression de la tête du canyon et le déplacement de son axe principal vers le Nord,
- Glissement de grande ampleur de la pointe Odden de 1971.

Les murs érigés le long du secteur côtier freinent le recul du trait de côte, cependant ils ne contribuent pas à son engraissement.

De 1987 à 2002, la mise en place des brise-lames et mur en ciment latérite renverse la tendance, l'engraissement prendra le dessus sur l'érosion. On observe la formation des tombolos en arrière des brises lames témoignant ainsi d'une reprise des accumulations et de la stabilité des plages (fig.70).

La période 2002-2007 est marquée par un recul spectaculaire du trait côte. Cette tendance est en partie liée à la vétusté des épis qui ne jouent plus pleinement leur rôle. De même, l'architecture à fortes pentes des fonds marins dans le secteur de la pointe Odden constitue un handicap pour la sédimentation des plages.

3.4.6-Synthèse de la dynamique du trait de côte 1958-2007 (fig.70)

L'expérience acquise par ces différents travaux permet de faire le bilan suivant :

- Entre les profils 848 et 11 : Les brise-lames ont bien joué leur rôle en favorisant la sédimentation à l'ombre de la houle et servent de bouclier pour les actions marines (houles perpendiculaires à la côte).
- Entre les profils 17 et 25 : Le mur « Saout » contribue à stopper la régression vers la route de la tête du canyon. La vétusté de cet ouvrage explique la reprise de l'érosion actuelle.
- La mise en place des épis le long de la côte de la pointe Renard a permis un fort engraissement du littoral (jusqu'à 300 m environ de gain). Les eaux peu profondes du banc du Loiret permettent une avancée rapide du trait de côte au Nord-ouest.
- Le mur « vibro flotté » dans une certaine mesure contribue à la stabilisation de la pointe Odden. Depuis sa mise en place (1973), les glissements enregistrés restent moins importants que celui enregistré en 1971. Les actions ponctuelles de dragages contribuent également à la stabilité de cette zone.
- Les protections en géotextiles sont d'un intérêt tout particulier dans le cadre de la protection rapprochée et provisoire. La technique de mise en place est maintenant bien maîtrisée, et a déjà permis de préserver la zone du phare à plusieurs reprises.

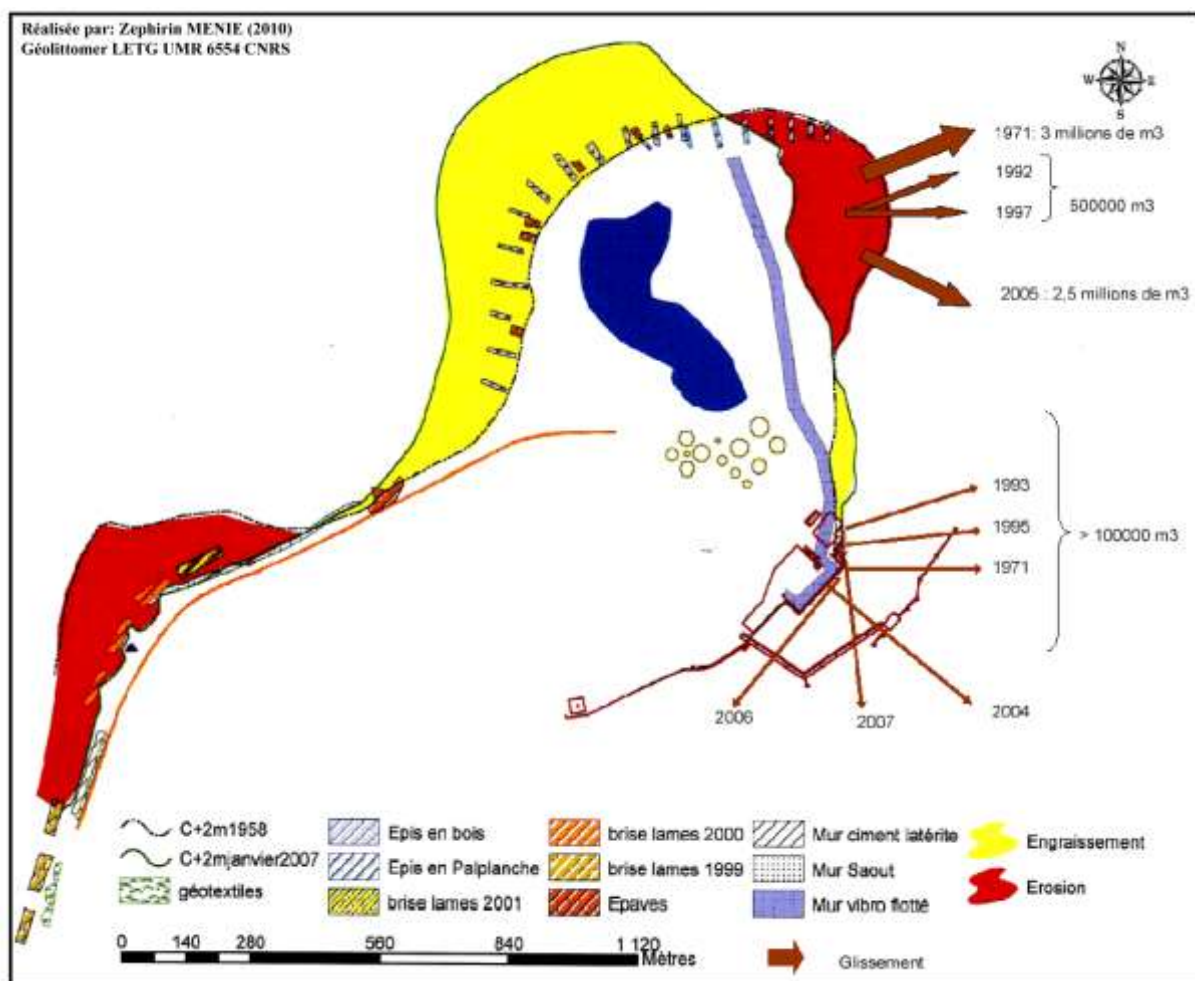


Figure 70 : Carte récapitulative de la dynamique du trait de côte entre 1958 et 2007

3.5-ANALYSE DIACHRONIQUE DE L'ÉVOLUTION DES PETITS FONDS MARINS ENTRE 1958 ET 2007 : SECTEUR DU CAP LOPEZ

L'analyse diachronique de la dynamique des fonds marins est effectuée sur deux secteurs géographiques distincts illustrés par les figures 71 et 72. Il s'agit respectivement de la zone Ouest limitée par la pointe du Phare et par la pointe Renard, et du littoral Nord-est englobant ainsi la pointe Odden et le quai des Chalands. Le fond marin océanique est cartographié de 0 à -60 m de profondeur.

3.5.1- Présentation des zones d'étude

a) La zone Ouest

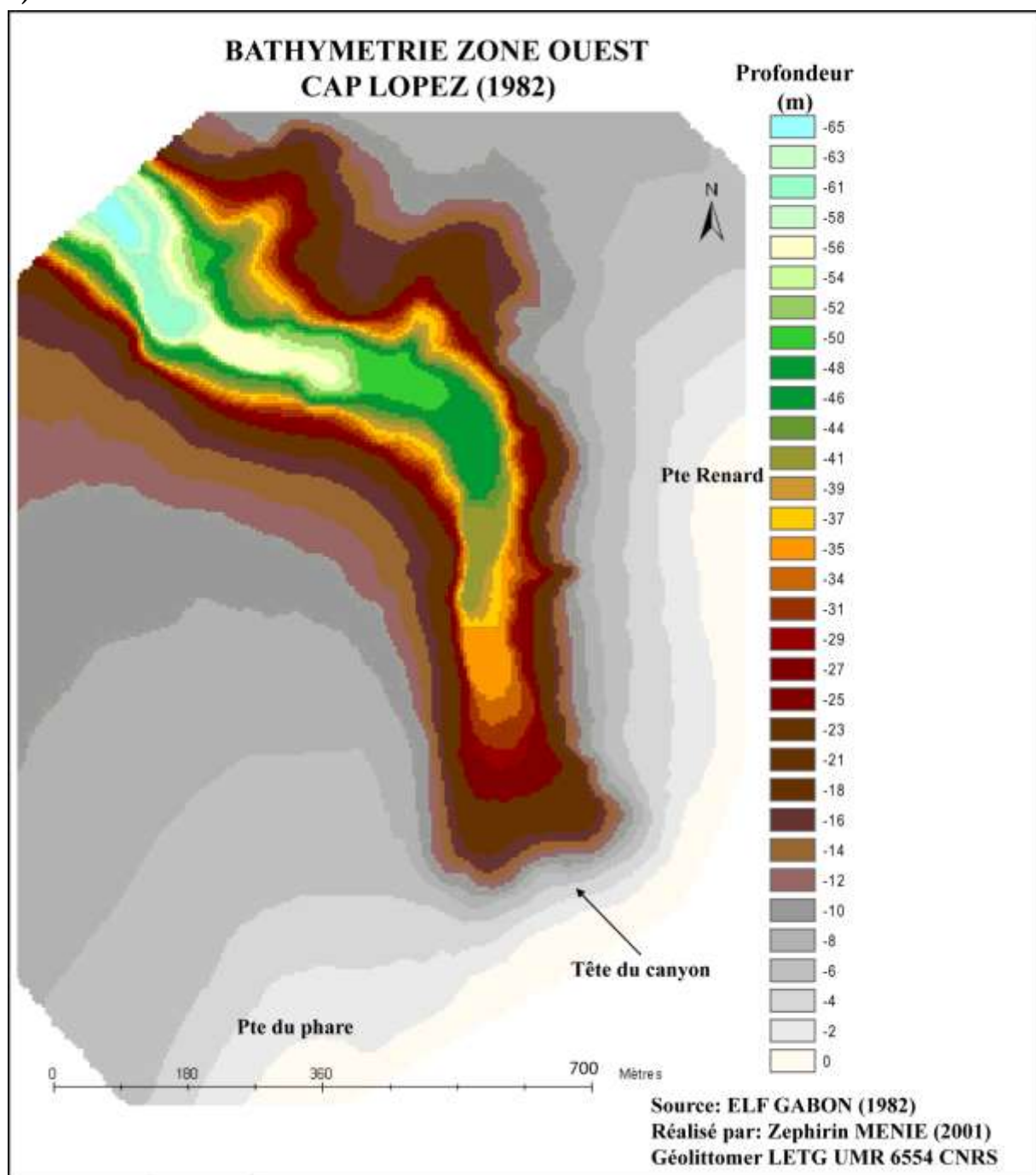


Figure 71 : Fonds marins situées entre la pointe du Phare et la pointe Renard.

La région Ouest se distingue par deux secteurs morphologiquement distincts séparés entre eux par l'axe du canyon orienté NW-SE. Il convient de faire le parallèle entre le positionnement de son axe et la forme concave adoptée par la plage au Nord du phare (fig.71).

b) Zone Est

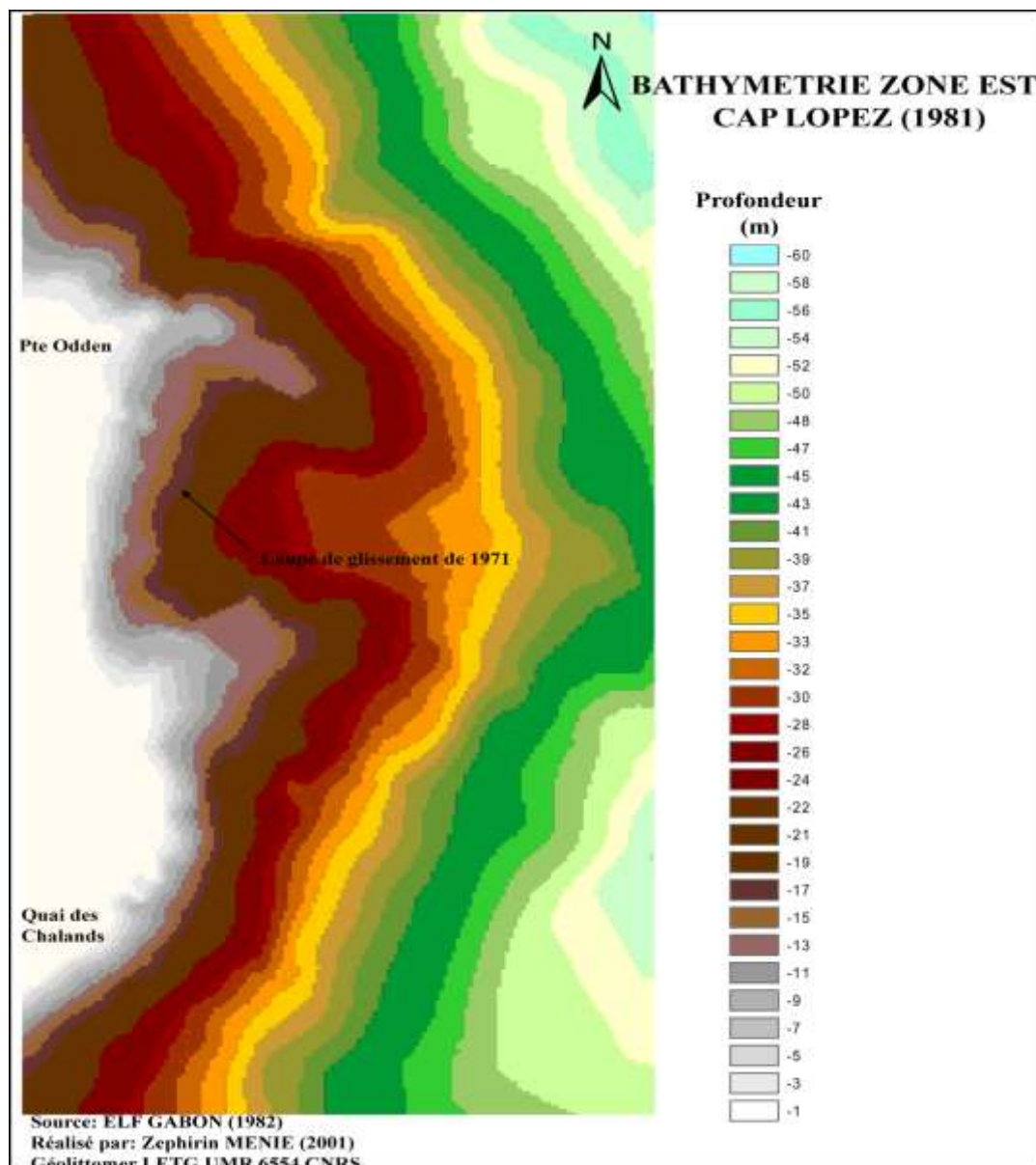


Figure 72 : Fonds marins du secteur Est du Cap Lopez.

La zone Est se distingue par un plancher à fortes pentes ($> 20\%$) matérialisées par une faible équidistance entre les classes de profondeurs adjacentes. Au niveau de la pointe Odden se développe une loupe de glissement, avec de part et d'autre plusieurs chenaux de drainage.

L'analyse morphodynamique est faite sur la base des cartes bathymétriques fournies par Total Gabon. Ces cartes couvrent la période allant de 1958 à 2004 (zone Ouest) et de 1971 à 2004 pour la zone Est. Nous présentons dans un premier temps les cartes des évolutions en plan et dans un second temps une analyse des profils est effectuée.

Cette évaluation s'appuie sur une série de cartes référencées dans le tableau 3 ci-dessous :

Tableau 3 : Listes des cartes bathymétriques du Cap Lopez

Titre des cartes	Echelles	dates des levés	Auteurs ou sources
Cap Lopez - Mission hydrographique des travaux de l'AEF	1/2000	Février 1958	J. Doudy ELF SPAFE
Cap Lopez-Classement B-15	1/2000	Janvier 1968	A. Fevre ELF SPAFE
Cap Lopez-Zone d'effondrement, levés des fonds classement H33	1/2000	Octobre 1971	R. Carton ELF SPAFE
Cap Lopez-côte Est-classement H241Bis	1/2000	Août 1978	J.P. Camus ELF-SPAFA
Cap Lopez-côte Est-classement K331	1/2000	Décembre 1980	B. Boher ELF GABON
Cap Lopez Ouest - classement K363	1/2000	Novembre 1982	B. Boher ELF GABON
Cap Lopez côte Est-classement K364 Bis	1/2000	Octobre 1982	B. Boher ELF GABON
Cap Lopez-zone du canyon	1/2000	Janvier 2004	V. Hinsinger Total Gabon
Cap Lopez pointe Odden	1/2000	Janvier 2004	V. Hinsinger Total Gabon

Un ensemble de traitements allant de la numérisation des cartes à leur mise en page a été longuement abordé dans la partie méthodologie de l'introduction générale de la thèse.

3.5.2-Cartographie de l'évolution des fonds marins entre 1958 et 2004

a) Zone Ouest

La carte de changement bathymétrique entre 1958 et 1978 (fig.73) obtenue à l'issu d'une comparaison entre les deux dates révèle les enseignements suivants :

- Engraissement généralisé à toute la zone à l'exception de l'axe principal du canyon. Cette tendance à l'engraissement explique le redressement du trait de côte de 1978 au niveau de la tête du canyon.
- L'érosion touche particulièrement l'axe principal et le flanc droit du canyon entre les lignes bathymétriques comprises entre [35-65 m] de profondeur.
- La zone du phare est relativement stable avec une légère tendance à l'engraissement

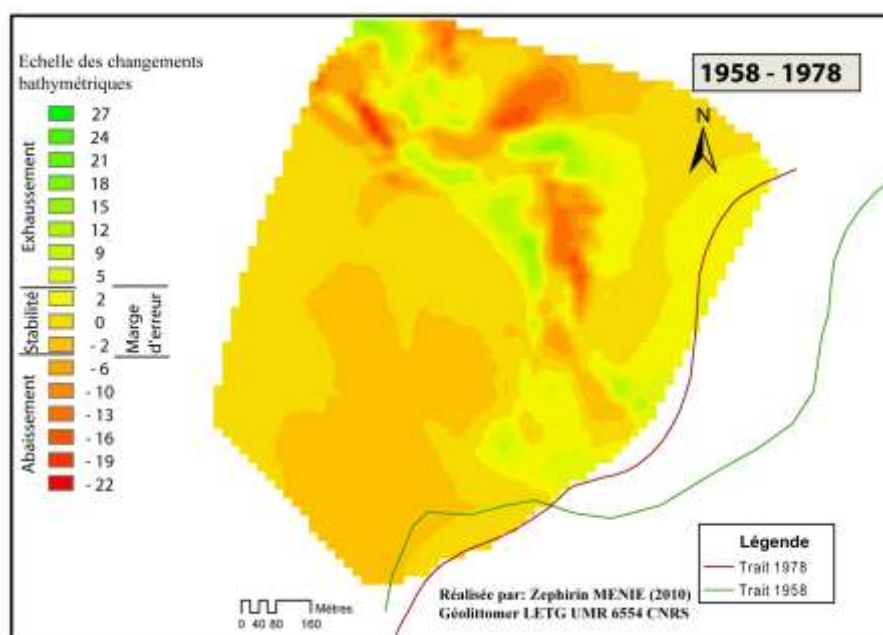
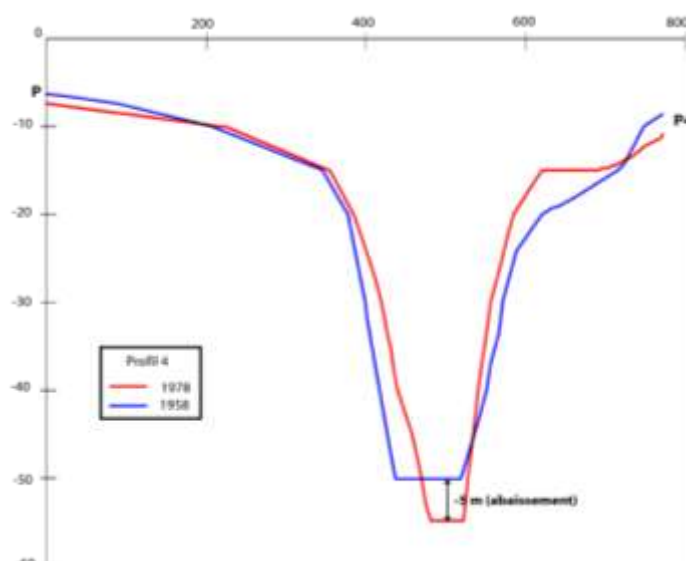


Figure 73 : Evolution des fonds marins zone Ouest entre 1958 et 1978

Les évolutions du plancher marin observées au niveau de la zone Ouest, sont liées en grande partie à la mobilité de l'axe du canyon. L'analyse de l'évolution au cours des 20 années révèle deux types de changements : D'abord, on a une érosion le long de l'axe du canyon et sur son flanc droit entre les lignes bathymétriques -25 et -35 m, avec une subsidence de -5 m de l'axe du canyon au-delà de -50 m de profondeur (graphique 12).

Ensuite on constate qu'en dehors de l'axe du canyon, les fonds marins sont restés stables ou sont en phase d'engraissement. Il convient de signaler un déplacement de la tête du canyon vers le Nord, mobilité attribuée à la dynamique d'ensemble de son axe principal.



Graphique 12 : Profils (P-P4) de l'axe du canyon en 1958 et en 1978

Le volume sédimentaire du plancher océanique (hors axe du canyon) situé entre 0 et -65 m de profondeur est de 82 millions de m³ pour l'année 1958 et de 87 millions de m³ pour l'année 1978. Le bilan sédimentaire entre les deux dates se solde par un gain de 5 millions de m³ de sédiments. L'axe du canyon concerné par les changements accuse une perte en sédiment de l'ordre de 1 million de m³ pour la seule période [1958-1978].

Pour la période [1978-1982], La carte d'évolution des fonds, montre qu'une grande partie des dynamiques morpho-sédimentaires se sont concentrées au niveau de l'axe du canyon (fig.74). Au niveau des fonds proches du trait de côte, on assiste à une érosion de la tête du canyon entraînant un recul du rivage sur plus de 250 m le long du segment de côte situé entre le Nord de la pointe du phare et le mur «Saout ». On note toute de même que cette érosion de moindre intensité se poursuit le long du flanc droit du canyon. Les trois noyaux d'érosion décelés pendant la période 1958-1978 connaissent une légère inversion de tendance.

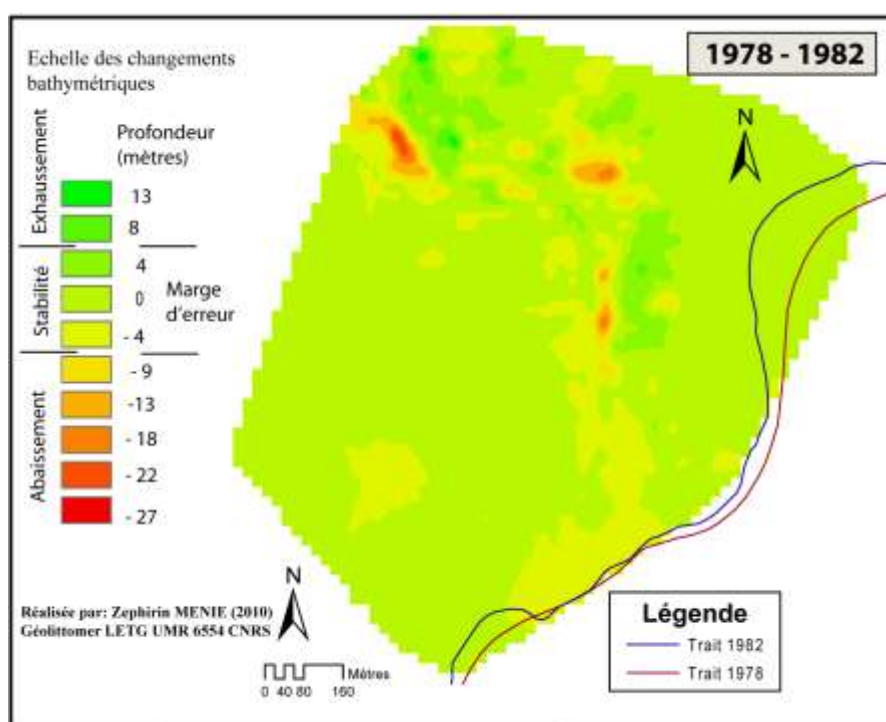


Figure 74 : Evolution des fonds marins zone Ouest entre 1978 et 1982

On estime pendant cette période un recul de la surface érodée à 6,2 ha [1958-1978] contre 4,5 ha en [1978-1982], soit un déficit de 1,7 ha.

Dans l'ensemble, les changements bathymétriques au cours de cette période, sont marqués par une sédimentation généralisée de la zone d'étude. On retient un bilan sédimentaire se résumant à une érosion de 523240 m³ contre 967360 de m³ de dépôts.

Le contexte des fonds marins entre 1982 et 2007 (fig.75) est marqué par une reprise de l'érosion de l'axe du canyon entre les lignes bathymétriques -50 et -70 m. La tête du canyon se déporte continuellement vers le Nord ce qui explique l'érosion observée dans les fonds situés entre le mur « Saout » et le Sud de la pointe Renard.

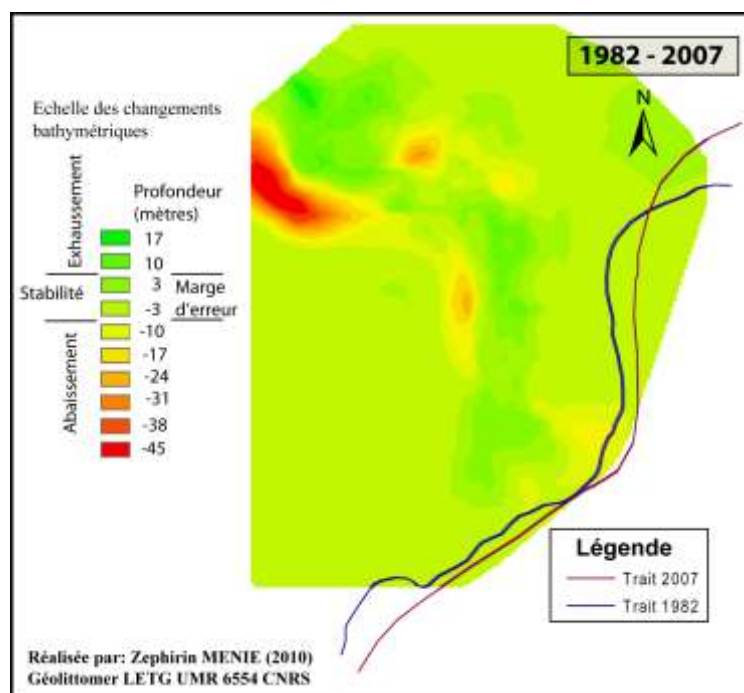


Figure 75 : Evolution des fonds marins zone Ouest entre 1982 et 2007

On assiste à une extension de l'érosion sur le flanc gauche du canyon. Même si les cellules d'érosion les plus actives restent localisées, cependant les quantités de sédiments enlevés sont considérables si on se réfère aux deux périodes précédentes. Le déficit sédimentaire occasionné par cette reprise de l'érosion se chiffre à $-3,7$ millions de m^3 donc 7 fois le volume de [1978-1982].

Sur l'ensemble de la zone d'étude, on constate que contrairement à la disposition du recul du canyon par érosion régressive vers l'Est, le risque d'assister à la rupture de l'extrémité de la flèche en deux, semble écarté. La tendance est restée globale à l'engraissement des secteurs situés de part et d'autre de son axe principal.

b) Zone Est

L'analyse diachronique de l'évolution des fonds marins situés entre la plate forme du terminal pétrolier de Total Gabon et la pointe Odden, est abordée ici dans un contexte d'un premier

glissement de grande ampleur de la pointe Odden, en juillet 1971 (fig.77). Cette perte se chiffre à environ 3 millions de m³ en 48 heures avec un recul de 200 m du trait côte.

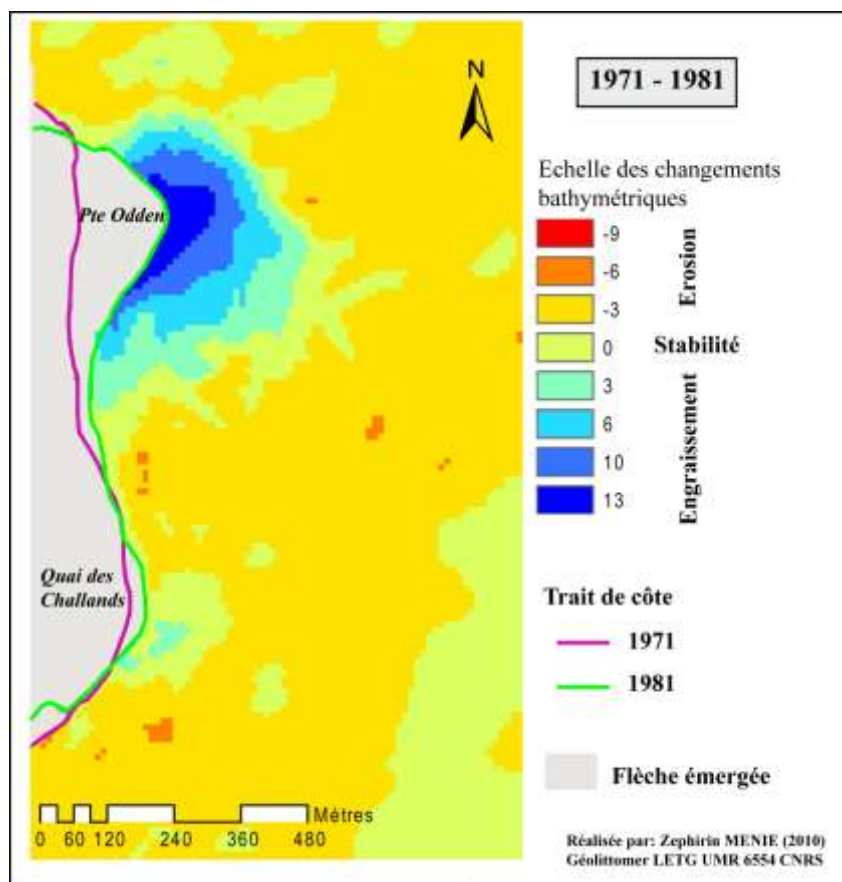


Figure 76 : Evolution des fonds marins zone Est entre 1971 et 1981

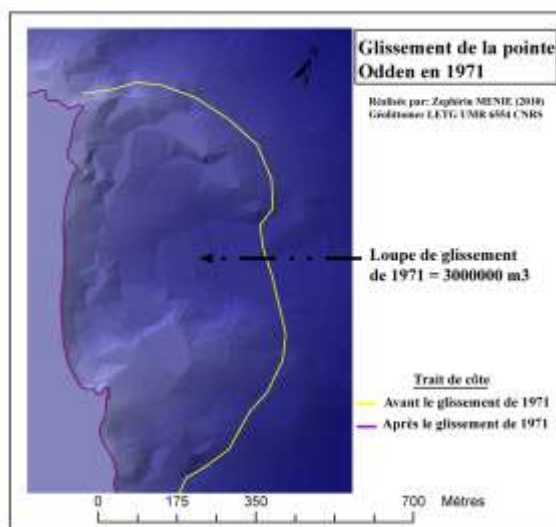


Figure 77 : Modèle en 3D de loupe de glissement de la pointe Odden (après le glissement de 1971)

La cartographie de l'évolution réalisée après le glissement de 1971, montre un redéploiement rapide de la sédimentation de la pointe Odden entre [1972-1981]. On note aussi un exhaussement léger des petits fonds proches du quai des Chalands.

Bien que la tendance soit à l'engraissement, on note au-delà de la ligne -35 m quelques points isolés d'érosion.

Le bilan global de la dynamique sédimentaire présente un solde positif de 4 millions m³ entre les deux dates.

La carte de l'évolution des fonds marins pour la période [1981-2007] est la résultante d'une somme de trois évènements qui n'apparaissent pas en première lecture des cartes.

La transition [1979-1981] constitue une étape marquée par un comblement rapide de la pointe. Elle s'accompagne par une accumulation excessive de sédiments à l'origine des pentes importantes de la côte.

1992, est l'année d'une première alerte, avec un glissement d'intensité modérée par rapport a la situation de 1971.

A partir de 1993, on assiste à une délocalisation des glissements de la côte du nord vers le Sud de la pointe d'Odden. 1993, 1995, 2004 et 2006, marquent une série successive de glissements au s'étalant de la pointe jusqu'à la plate forme du terminal pétrolier.

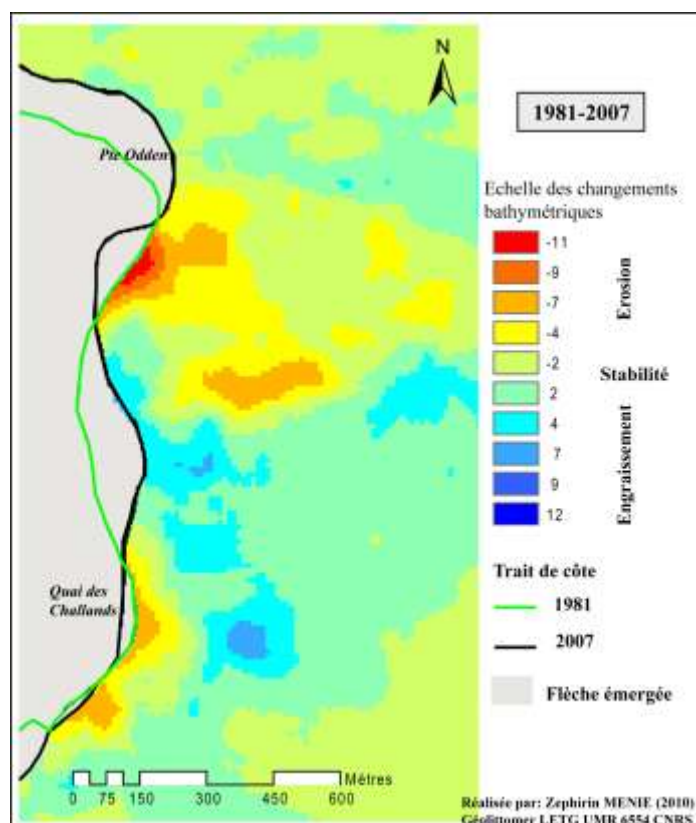


Figure 78 : Evolution des fonds marins zone Est entre 1981 et 2007

Ces glissements de terrain représentent un budget sédimentaire de solde négatif de l'ordre de 3 millions de m³. L'ampleur des dégâts (fig.79) ainsi occasionnés se chiffre à plusieurs millions d'euros accompagnés par une dégradation considérable de l'environnement par une pollution aux hydrocarbures.



Figure 79 : Rétrospective des glissements de la côte de la pointe Odden

3.5.3- Analyse des profils bathymétriques longitudinaux de la zone d'étude 1958 à 2007

a) Zone Ouest

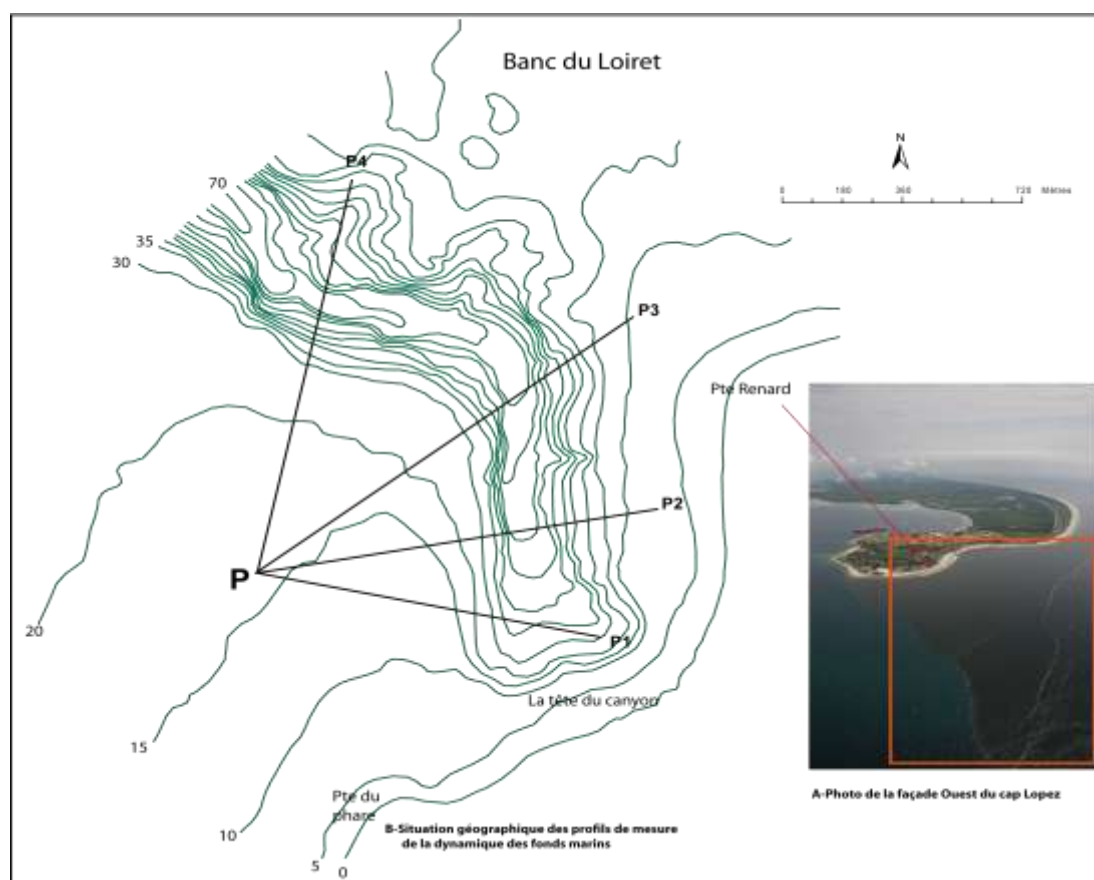


Figure 80 : Localisation géographique des profils de la zone Ouest

La dynamique de la zone Ouest est quantifiée suivant 4 profils (PP1, PP2, PP3, PP4) disposés chacun perpendiculairement à l'axe du canyon à partir d'un point fixe P. La cinématique de la bathymétrie est appréciée dans le sens de l'axe PP_i (avec $i = 1, \dots, 4$). La disposition spatiale de ces profils est illustrée ci-dessous (fig.81).

La zone regroupe les fonds marins situés entre la pointe du phare et la pointe Renard. Les levés bathymétriques sont effectués de la côte 0 m à 70 m de profondeur.

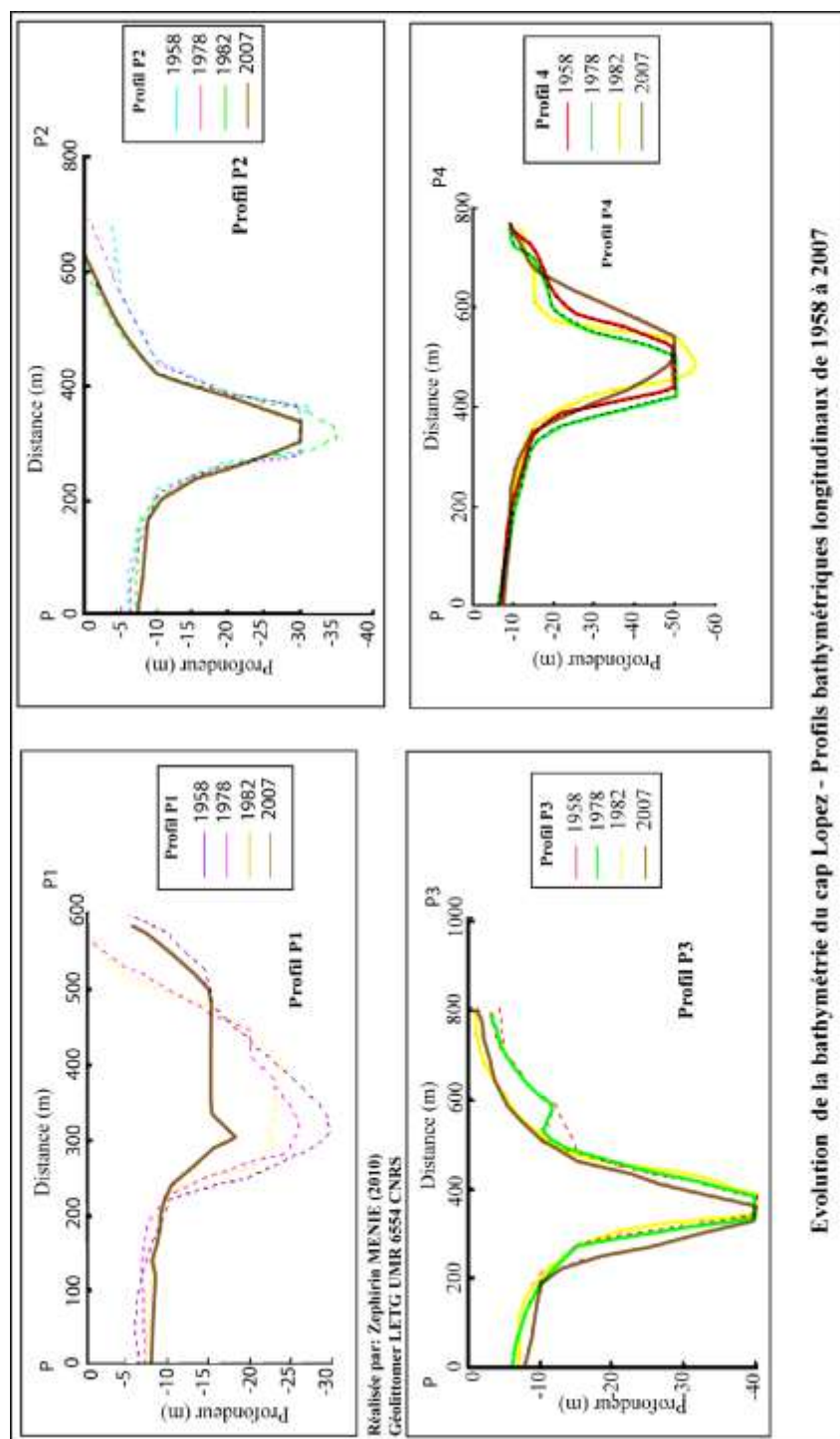


Figure 81 : cinématique des profils PP1, PP2, PP3 et PP4 entre 1958 et 2007

Profil PP1 :

On observe trois types de changements le long des 600 m de l'axe (PP1):

- Une érosion de faible amplitude mais régulière sur le flanc droit du canyon entre le point origine 0 et la position 220 m,
- [220 – 480 m], on note un engraissement de l'axe du canyon estimé à 20 m de dépôts, soit une vitesse de sédimentation annuelle de 0,4 m/an,
- la section [480 – 600 m] est stable avec une tendance à l'engraissement de l'axe du canyon. La situation de 2007 ressemble à celle de 1958.

Profil PP2 :

Distant de 650 m la dynamique d'ensemble du profil est similaire à un entonnoir avec une rupture marquée de la pente entre les flancs et l'axe central du canyon.

- la section [0 – 200 m] est marquée par une érosion.
- [200 – 600 m] on observe un engraissement généralisé avec une accentuation des pentes le long de l'axe du canyon. On constate comme dans le profil PP1 un exhaussement de l'axe du canyon de +5 m de profondeur avec un engraissement du flanc Est du canyon.

Si la tendance générale est au rehaussement des fonds marins, on note que l'axe du canyon entre 1958 et 2007 est resté au même niveau (-30 m).

Profil PP3 :

L'évolution du profil est marquée par trois changements : (i) érosion du flanc gauche de l'ordre de 4 m environ ; (ii) déplacement de l'axe du canyon vers le Nord avec un changement de direction du Nord vers l'Ouest ; (iii) une accumulation de sédiments sur le flanc droit du canyon,

Profil PP4 :

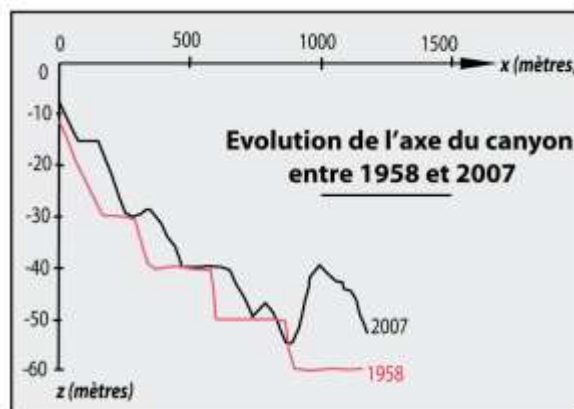
L'analyse de la cinématique du Profil PP4 entre 1958 et 2007 fournit trois enseignements :

- une stabilité du flanc gauche,
- un changement de direction de l'axe, accompagné par un déplacement vers le Nord,
- une érosion du flanc droit correspondant à la région située entre -5 à -35 m de profondeur.

Les changements bathymétriques constatés dans la zone du canyon et de son environnement immédiat entre 1958 et 2007 sont considérables. Cela témoigne des mouvements sédimentaires importants et pose la question d'une pluralité de causes à l'origine de la dynamique de la bathymétrie.

Une approche globale de la dynamique de la zone Ouest permet de trier les informations suivantes:

- L'aggradation verticale importante de l'axe du canyon au cours des 50 dernières années (Graph.13). Cet exhaussement de l'axe du canyon témoigne de l'existence d'un transit littoral important, chiffré à environ 500000 m³/an (Total Gabon, 2007). Le canyon constitue donc un véritable piège à sédiment qui engloutit le gros du transit en provenance du Sud de la flèche.



Graphique 13 : Evolution de l'axe principal du canyon entre 1958 et 2007

- Une instabilité des fonds marins avec une tendance globale à l'érosion. La période [1958-1978] est marquée par un bilan sédimentaire positif. En dépit d'une érosion persistante sur l'ensemble de la zone, on constate tout de même que l'aggradation prend le dessus. Cette période est marquée par une sédimentation importante (fig.82),

On observe globalement un comblement de l'axe du canyon entre les lignes 0 et - 40 m et un exhaussement du plancher marin comparativement avec la situation 1958-1978. Il convient de signaler le fait que le processus d'engraissement concerne plus le flanc droit du canyon.

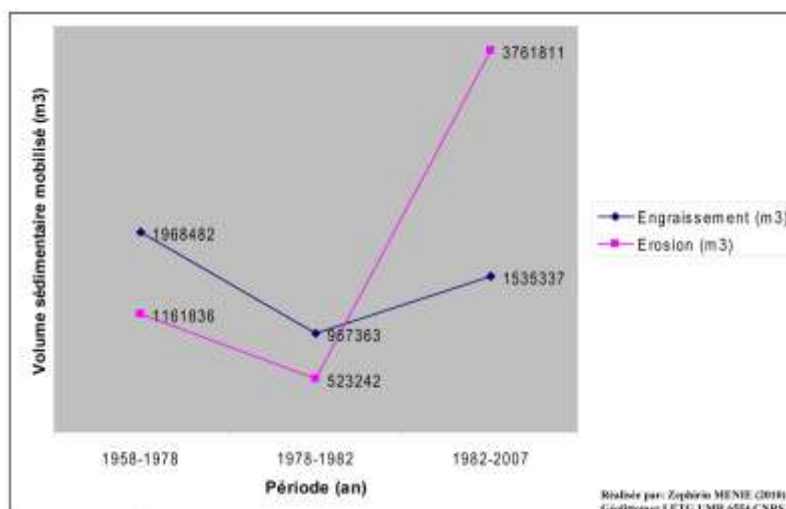
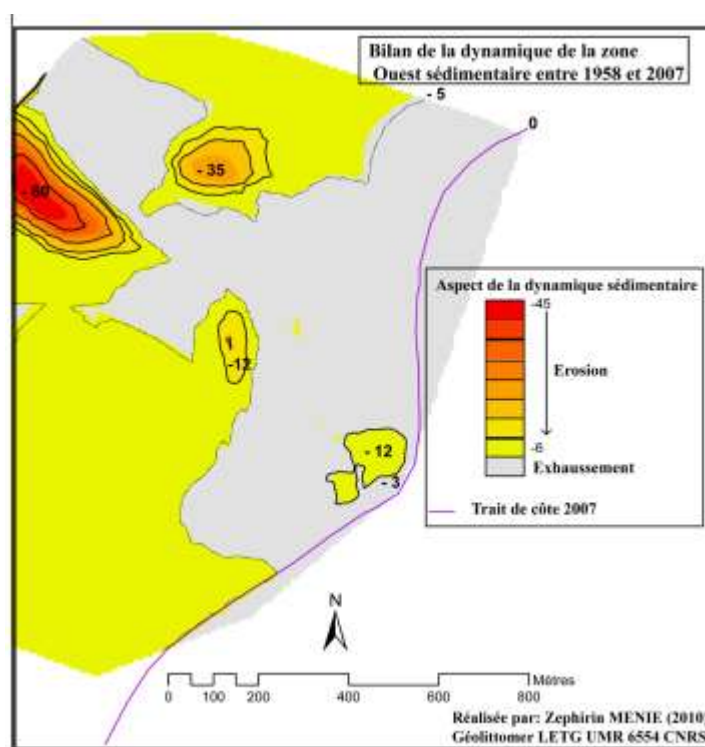


Figure 82 : Estimation de la dynamique sédimentaire de la zone Ouest de 1958 à 2007

La période [1978-1982], amorce une chute constante du budget sédimentaire, atteignant ainsi les volumes 2 fois inférieurs à ceux connus pendant la période précédente. En dépit de la baisse de régime de la dynamique sédimentaire, le bilan gain/perte reste tout de même positif.

- La période [1982-2007], marque une inversion de la tendance entretenue jusqu'en 1982. L'érosion reprend le dessus sur la sédimentation. Malgré un transit sédimentaire régulier, le bilan gain/perte se solde par des pertes de l'ordre de 3,7 millions de m³

La carte de synthèse de l'évolution des fonds marins révèle une zonation de l'érosion. Dans l'axe du canyon, la zone comprise entre - 45 et - 65 m de profondeur enregistre des pertes sédimentaires. Le flanc Ouest du canyon semble le plus touché. Le banc du Loiret et l'axe du canyon au niveau des lignes bathymétriques > - 45 m, connaissent aussi la même situation. La zone d'érosion située entre le mur « Saout » et la pointe Renard témoigne d'une tête de canyon active



loupes de glissement observées sur le flanc gauche du canyon résultent d'une exposition face aux éléments météo-marins en provenance du Sud de la flèche.

b) Zone Est

C'est le segment de côte situé entre la pointe Odden et la crique des éléphants (fig.84). Plus de la moitié du trait de côte est occupée par la plateforme du terminal pétrolier.

L'évaluation de la dynamique des petits fonds proches du terminal est faite suivant quatre profils (P1E1, P2E2, P3E3, P4E4) orientés WE et disposés le long de ce littoral.

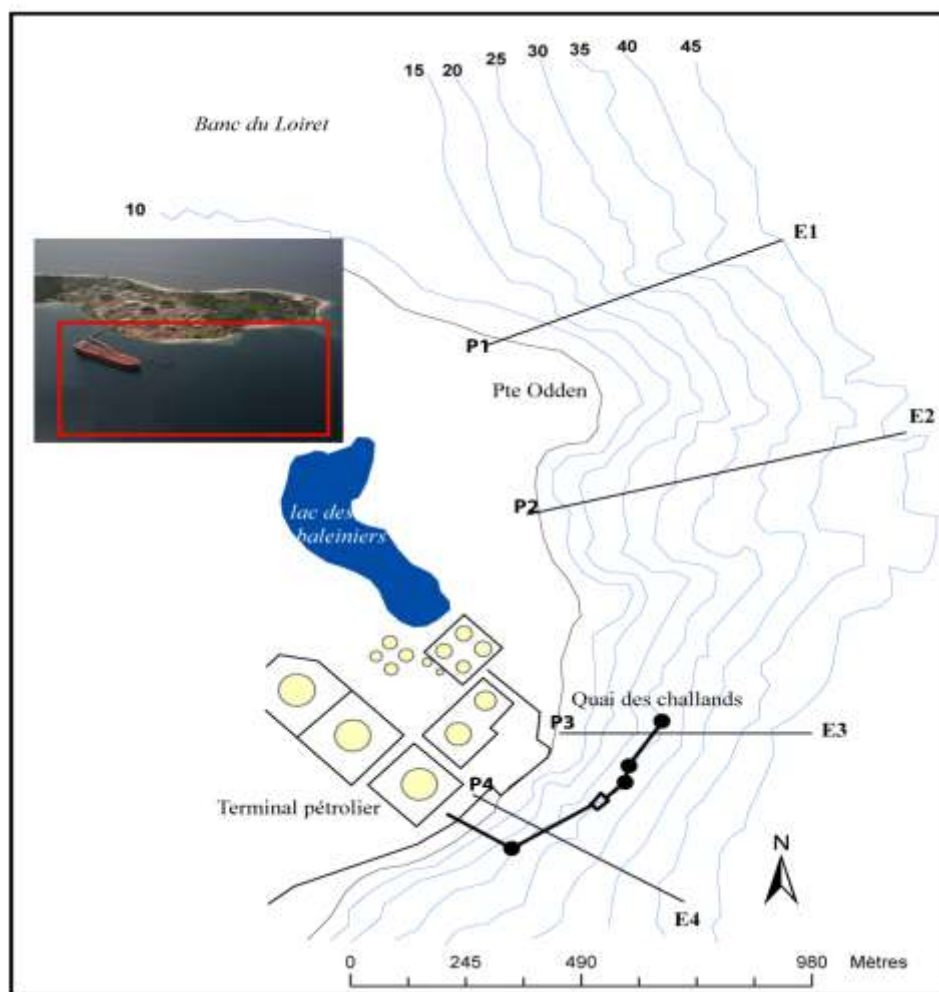


Figure 84 : Carte de situation des profils au niveau du secteur Est du Cap Lopez

Elle couvre le secteur situé entre la pointe Odden et le quai des Chalands. Les résultats ainsi obtenus sont représentés en figure 85. Une analyse par profils des courbes de 1971, 1981 et 2007 est donc entreprise. Il faut signaler qu'en dehors de cette étude, le suivi par profils de cette côte est fait aussi par la société pétrolière TOTAL GABON depuis 1972 (Crespin, 2006b). Le rapport de ce suivi a fixé la pente critique de glissement à 8% (Lacasse et al, 1996 ; Crespin, 2006).

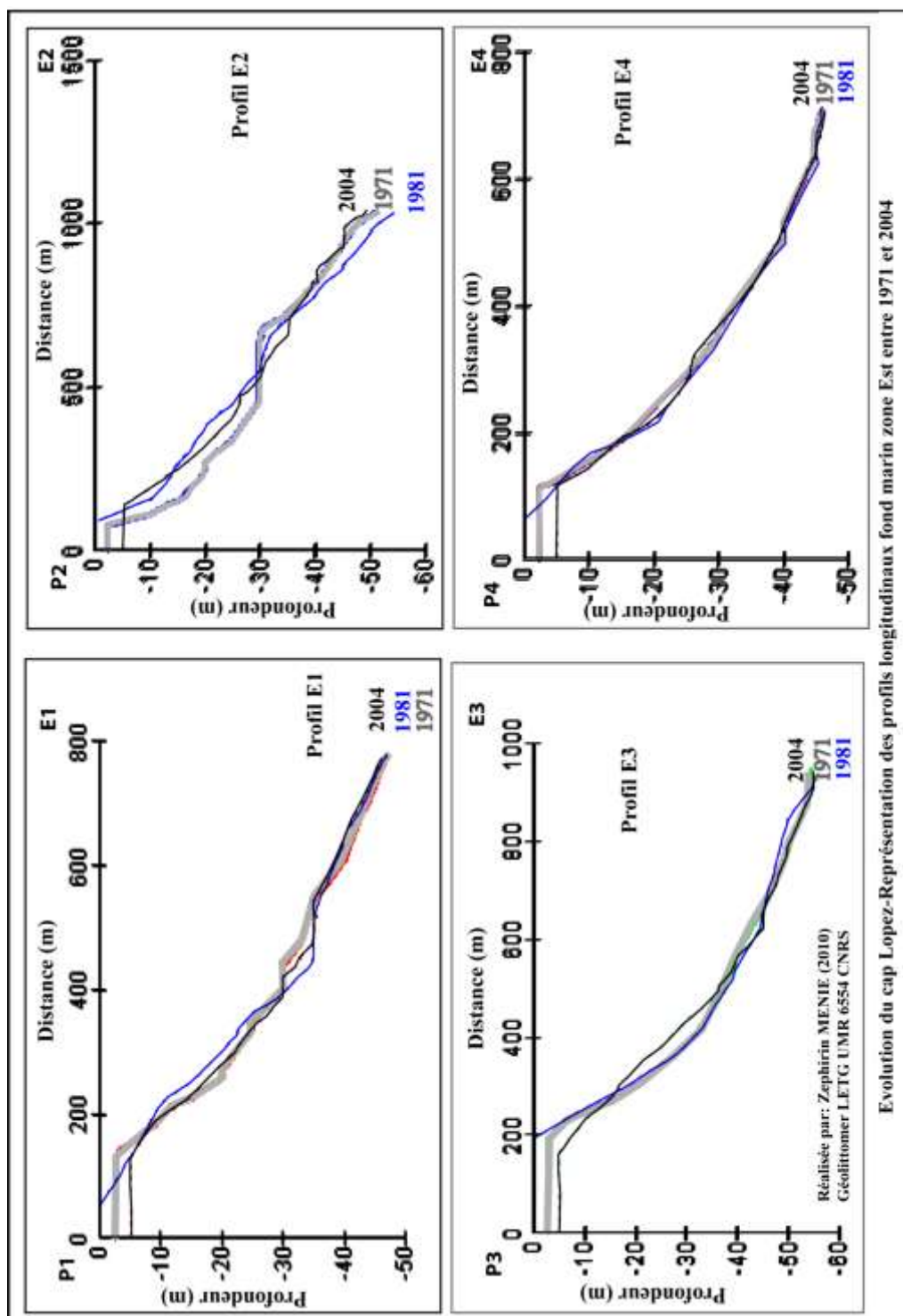


Figure 85 : Evolution des profils E1, E2, E3 et E4. Années 1971, 1981, 2004. Zone Est

Profil P1E1

La position du trait de côte en 2004 est similaire à celle qu'elle occupait avant le glissement de juillet 1971. L'ensemble des courbes du profil se distingue par deux changements :

-[0 - 200 m], on enregistre un engraissement en 2004 avec une extension de la plage de 150 de large par rapport à la situation de 1971.

-[200-800 m], au-delà de -35 m de profondeur les fonds marins sont stables.

Il ressort alors que les mouvements de masses liés aux glissements de la côte ne s'opèrent qu'entre les lignes bathymétriques comprises entre 0 et -35 m.

Profil P2E2 :

Il présente la dynamique de la bathymétrie dans l'axe principal de la loupe de glissement de la pointe Odden. Entre 0 et -35 m de profondeur, on note une érosion de -10 m d'épaisseur. Au-delà de -35 m de profondeur, les fonds marins n'ont pas changé.

Profil P3E3 :

Il couvre la zone du quai des Chalands. On enregistre une extension importante du rivage au-delà de la position de 1971. Cette évolution est agrémentée par un exhaussement de la côte de 2,5 m en moyenne. Les fonds marins situés entre -2,5 m et -35 m sont touchés par les glissements. Les fonds marins au-delà de -35 m ne souffrent d'aucun changement et sont par conséquent stables.

Profils P4E4 :

Il mesure les évolutions bathymétriques des fonds proches de la plate-forme du terminal pétrolier. Un seul changement est à noter : il s'agit d'une aggradation du rivage de 2,5 m par rapport à la situation de 1971. La zone semble stable

L'analyse globale des différents profils montre que la dynamique des fonds marins entre 1971 et 2004 est liée aux glissements de grandes ampleurs de 1971 et 2005. Ceux-ci ont provoqué d'une part, le recul du rivage de 30 m en 1971 (IGN, 1992) puis de 22 m en 2005 (Crespin, 2006b), et d'autre part, une extension de 700 m de la pointe Odden, soit jusqu'à la ligne bathymétrique -40 m (Batteux, 2007).

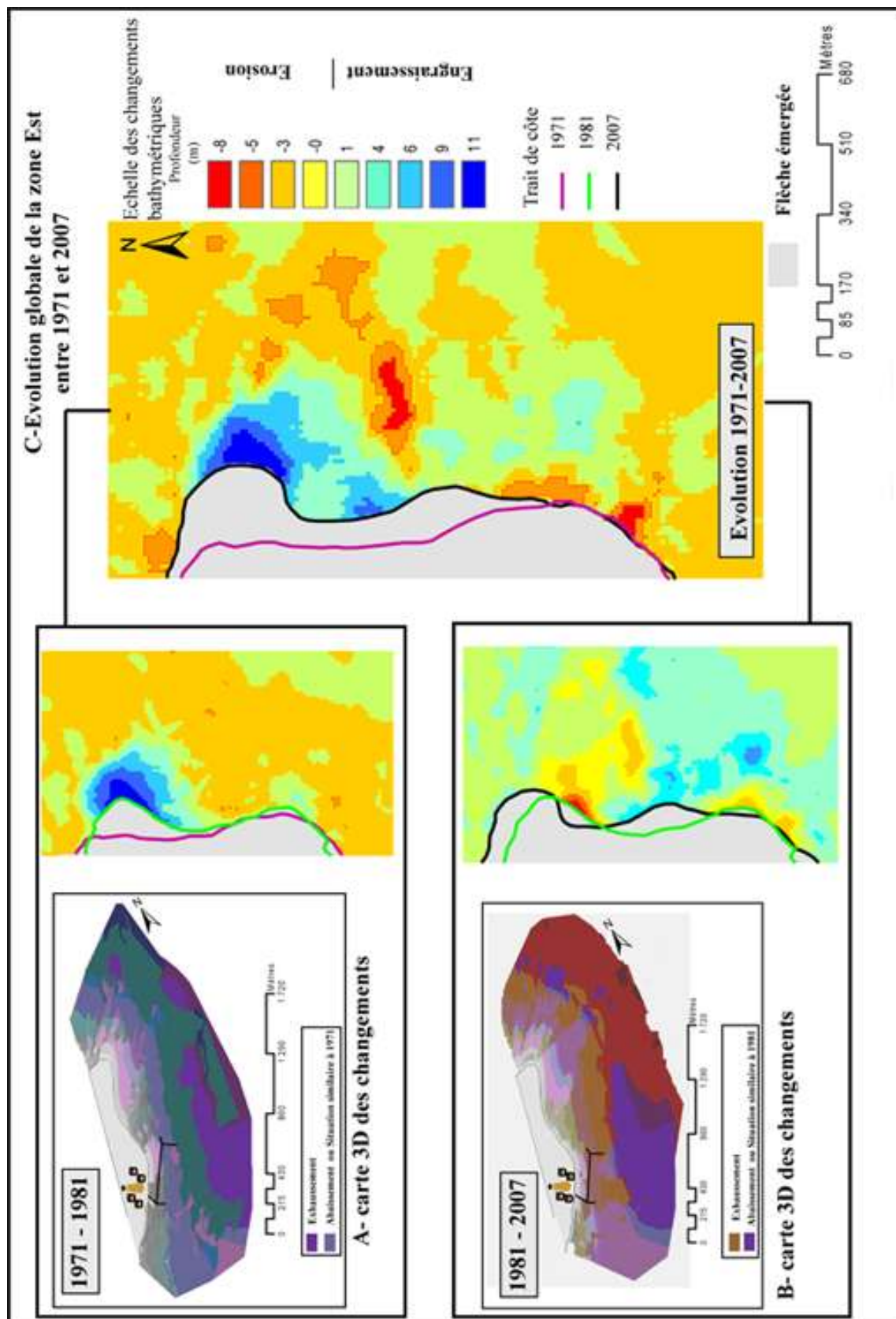
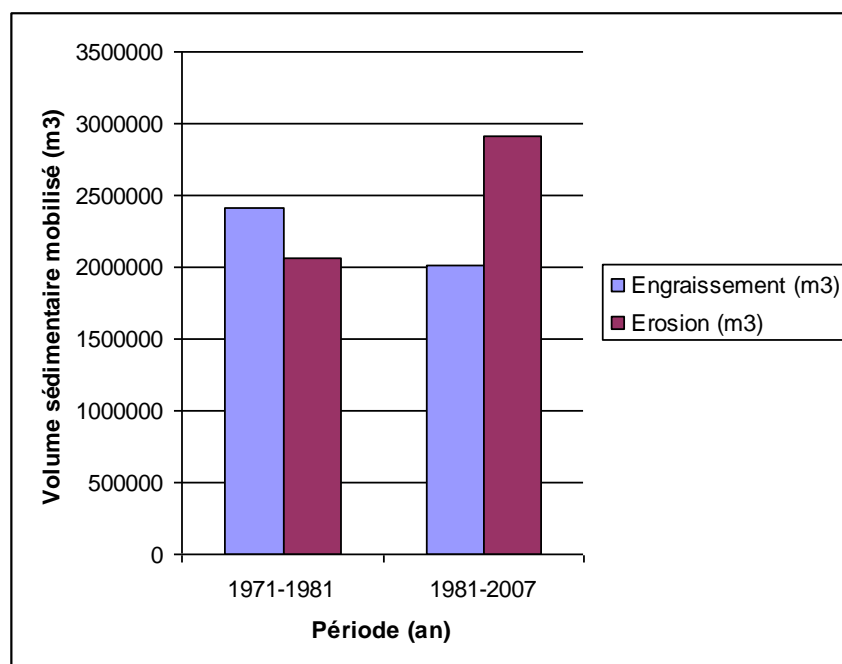


Figure 86 : Synthèse des changements globaux entre 1971 et 2004 dans la zone Est

3.5.4- Bilan de l'évolution des petits fonds marins entre 1971 et 2007

Les résultats obtenus dans cette analyse diachronique permettent de tirer les enseignements suivants :

- (i) La mobilité du trait de côte a un lien étroit avec la série des glissements enregistrés depuis 1971. Au niveau de la pointe Odden, On remarque qu'au cours de cette période on a connu non seulement une extension vers le large de l'ordre de 350 m, mais aussi un exhaussement vertical d'une moyenne de 3 m/an par rapport au niveau actuel des eaux.
- (ii) La côte au Nord de la pointe Odden et le quai des chalands, constituent les zones les plus vulnérables. A ce niveau on note une érosion fréquente avec des périodes de retour moins espacées comparativement avec les glissements de la pointe Odden,
- (iii) le résultat global de la dynamique du plancher océanique donne un budget sédimentaire déficitaire (Graph.14). Tout cela se solde par un accroissement de l'érosion équivalent à environ 2,9 millions m³ pour la seule période [1981-2007] contre 2 millions de m³ [1971-1981].



Graphique 14 : Bilan [érosion/engraissement] entre 1971 et 2007 (en m³)

Malgré le fait que la période 1971-2007 ne représente que 36 ans d'évolution, des changements significatifs sont tout de même perceptibles sur la carte de synthèse (fig. 86). On peut remarquer que les glissements enregistrés au niveau de la côte Est sont certes préjudiciables pour les installations du terminal pétrolier, mais sur une approche géomorphologique ne constituent qu'une résultante de l'amorce d'une étape de la morphogénèse de la flèche Mandji.

CHAPITRE 4 : EVOLUTION DE LA ZONE RETROLITTORALE ENTRE 1990 ET 2001

INTRODUCTION	156
4.1-MATERIELS ET METHODE	157
4.1.1-Matériels et données.....	158
4.2-LES IMAGES SATELLITES ET LEURS TRAITEMENTS	160
4.2.1-Opérations de prétraitements des images satellites	160
4.3-CLASSIFICATION DES IMAGES LANDSAT TM 1990 ET ETM+ 2001.....	162
4.3.1-Description des 6 classes d'occupation retenues	163
4.3.2-Résultats des classifications	168
4.4- EVALUATION DES CLASSIFICATIONS DES IMAGES	171
4.5- ANALYSE STATISTIQUE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL ENTRE 1990 ET 2001.....	173
4.5.1-Approche statistique de l'information brute extraite des deux classifications	173
4.6- CONCLUSION PARTIELLE	180

INTRODUCTION

La dynamique est « un changement résultant d'un jeu de forces... » Brunet (1992). L'implication des forçages naturels et les actions anthropiques dans la dynamique du trait de côte ayant déjà été démontré en chapitre 2 et 3, Il est donc question ici d'une mise en évidence de l'impact de cette dernière sur l'occupation du sol de la bande littorale. Sur la base de cette hypothèse, le segment de côte naturelle [Ozouri – PG2] a été choisi pour cette étude.

La démarche méthodologique utilisée dans le cadre de l'analyse de l'occupation du sol implique l'utilisation de données géographiques et d'outils informatiques adéquats. Les images satellites constituent donc des données adéquates pour identifier les différences d'état d'une région en l'observant à des dates différentes (Inglada, 2001).

Le but de cette étude de la dynamique de l'occupation est d'une part, de réaliser des cartes d'occupations du sol de la section du littoral (exempte de toute influence anthropique), et d'autre part, d'analyser l'impact du recul du trait de côte sur l'occupation de ce milieu.

Le chapitre se structure en deux sous-chapitres :

- **Les images satellites et leurs prétraitements**
- **L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol**

4.1-MATERIELS ET METHODE

Afin de trouver des réponses à notre problématique, une méthode a été mise en place. Elle englobe les différents prétraitements et traitements (fig.87).

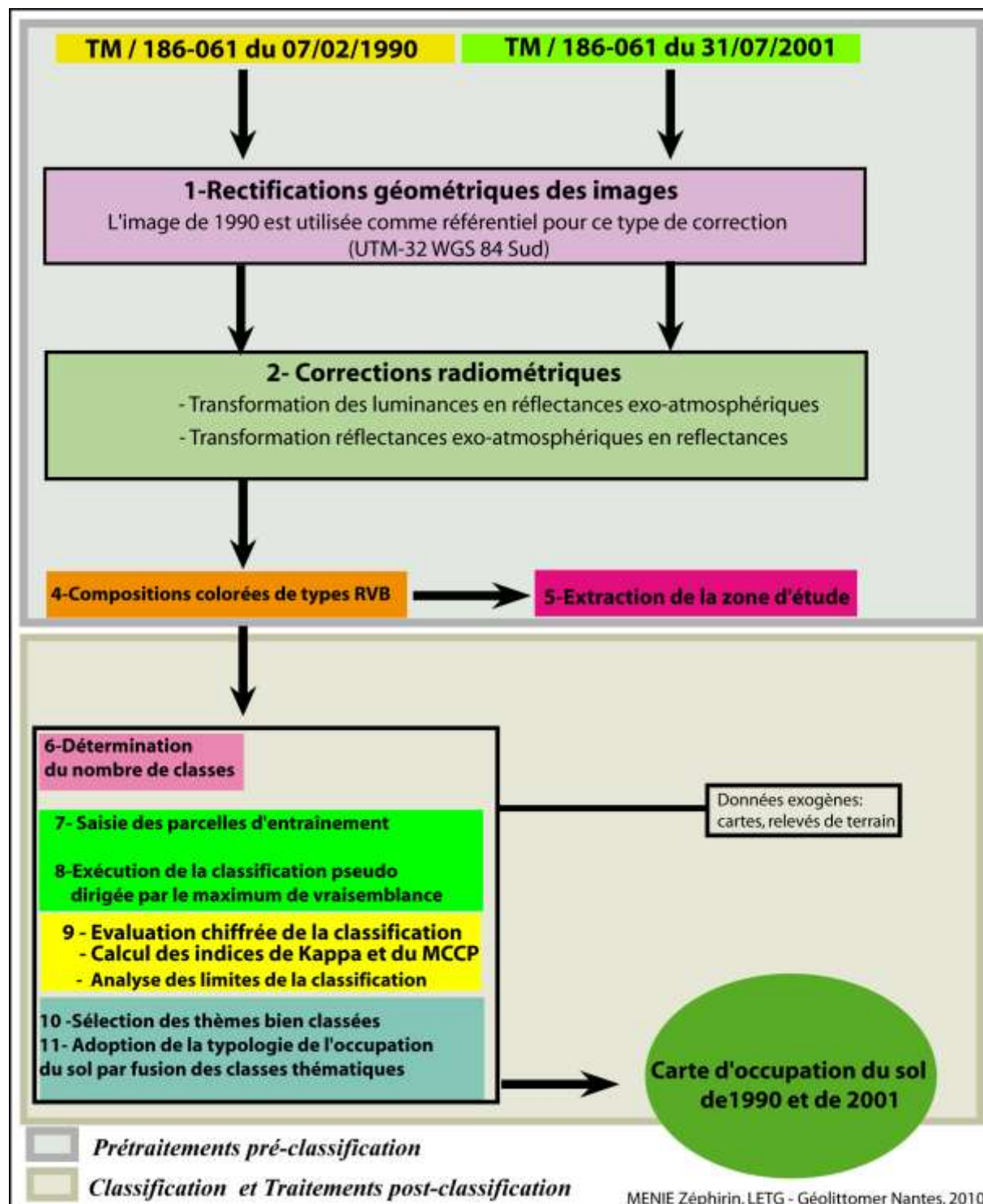


Figure 87 : Tableau synoptique des différents niveaux de traitement des images

4.1.1-Matériels et données

a) Les données Landsat

Les images satellites utilisées sont de types Landsat TM et ETM+ (30 m) (fig.88). Ce sont des images hautes résolutions spatiales et spectrales, utilisées couramment pour les études de ressources terrestres (Oswald, et al., 2007). Elles sont gérées par la NASA et USGS, et nous avons téléchargé deux (2) scènes Landsat dont une TM et une ETM+ datant respectivement de 1990 et de 2001 avec une couverture entière de notre zone (fig.89). Les caractéristiques physiques des deux images sont présentées dans le tableau n°4.



Figure 88 : Compositions colorées des images Landsat TM du 07/02/1990 et ETM+ du 31/07/2001
(Source : Université de Maryland & NASA)

Tableau 4 : Caractéristiques des images satellites

Types de données	Nombre de scènes	Coordonnées KJ (WRS)	Date de prise de vue	Bandes spectrales	Domaine spectral	Domaine spatiale	Echelle d'exploitation
ETM+	2	186-61	31/07/2001	1.[0,45-0,50µm]	Bleu	30×30 mètres	1/50 000
				2.[0,52-0,60µm]	Vert	30×30 mètres	
				3.[0,63-0,69µm]	Rouge	30×30 mètres	
				4.[0,75-0,90µm]	Proche infrarouge	30×30 mètres	
				5.[1,55-1,75µm]	Infrarouge moyen	30×30 mètres	
				6.[10,40-12,50µm]	Infrarouge thermique	60×60 mètres	
				7.[2,09-2,35µm]	Infrarouge lointain	30×30 mètres	
				P.[0,52-0,90µm]	Panchromatique	15×15 mètres	
TM	2	186-61	07/02/1990	1.[0,45-0,53µm]	Bleu	30×30 mètres	1/50 000 à 1/100 000
				2.[0,52-0,60µm]	Vert	30×30 mètres	
				3.[0,63-0,69µm]	Rouge	30×30 mètres	
				4.[0,76-0,90µm]	Proche infrarouge	30×30 mètres	
				5.[1,55-1,75µm]	Infrarouge moyen	30×30 mètres	
				6.[10,40-12,50µm]	Infrarouge thermique	120×120 mètres	
				7.[2,08-2,35µm]	Infrarouge lointain	30×30 mètres	

L'image ETM+ du 31/07/2001 est acquise pendant la grande saison sèche, période où la végétation présente une activité chlorophyllienne moindre et certains plans d'eau laissant place aux plantes opportunistes ou parfois à un sol nu.

L'image TM du 31/02/1990 est prise pendant la grande saison des pluies. La végétation est luxuriante et chlorophyllienne, et la nappe affleure en surface inondant parfois la savane à certains endroits : c'est la période de fortes tempêtes hivernales.

La différence des dates de prise d'images constatée pose un problème de représentativité des variations saisonnières et nous oblige dans le cadre de cette étude à ne considérer comme indicateur évolutif que l'aire des classes d'occupation du sol.

Géométriquement, les scènes ont été redressées suivant le système de projection géographique Universal Transverse Mercator (UTM) à partir de l'ellipsoïde WGS 84, Zone 32 Sud.

Dans un souci de précision maximale des résultats, un calage supplémentaire à partir des points GPS a été fait.

Il convient tout de même de souligner la présence de couches nuageuses observées sur les scènes altérant ainsi la qualité radiométrique des pixels. D'après Oswald (2005), plus on a la présence de fortes concentrations forestières et pluviométriques, plus le nombre de pixels affecté par le bruit est important.

En plus de la qualité radiométrique et géométrique, nous disposons des images hétérogènes prises avec des satellites et capteurs à différente résolution spatiale et spectrale.

Compte tenu de tous ces éléments, seules les bandes du rouge (3), du proche infrarouge (4) et de l'infrarouge moyen (5) sensibles à la biomasse et la quantité d'eau dans les plantes (Bonn et Rochon, 1996) sont retenues.

b) Le Matériel utilisé

Deux types de logiciels permettent la réalisation des cartes d'occupation du sol issu des images satellites :

- Les logiciels de traitement d'images

L'ensemble des opérations allant du traitement des images à l'obtention des cartes d'occupation du sol est fait à partir du logiciel Erdas Imagine 8.5

- Les logiciels de SIG et gestion des bases de données

Les bases de données ont été structurées par le logiciel ArcGis via les extensions ArcMap et ArcCatalogue.

Au-delà du traitement de l'information géographique, la mise en page des cartes et la réalisation des graphiques ont été faites par les logiciels Illustrator et Excel.

4.2-LES IMAGES SATELLITALES ET LEURS TRAITEMENTS

4.2.1-Opérations de prétraitements sur les images

Elles englobent les différentes corrections géométriques et radiométriques appliquées sur les images avant la classification proprement dite. Elles permettent par ailleurs de pouvoir superposer les images et de travailler sur des spectres diminués du bruit de l'atmosphère.

Dans l'ordre des corrections, la radiométrie précède la géométrie afin de minimiser les effets d'altération au niveau du spectre généré par l'interpolation bilinéaire de la phase de redressement des images.

a)-Les corrections géométriques des images

L'image de 1990 a servi de base pour le redressement géométrique. Le positionnement géographique de l'image de 2001 a été réalisé par le pointage de 20 points d'appui répartis sur l'ensemble de l'image. L'erreur moyenne quadratique est estimée à 0,4 pixels.

b)-La calibration radiométrique des images

Elle permet d'obtenir in fine les images en pourcentage de réflectances exo-atmosphériques. Ce processus consiste dans un premier temps à transformer les valeurs radiométriques en luminance, et dans un second temps, à transformer les luminances en réflectances exo-atmosphériques (ou planétaires).

La correspondance d'un pixel est une valeur radiométrique comprise entre 0 et 255 (images codées 8 bits). Elle correspond à une grandeur physique : la luminance (reçue par un capteur). Il existe donc une relation linéaire entre les luminances en entrée et les valeurs radiométriques en sortie ; autrement dit la luminance minimale correspond à la valeur radiométrique 0 et la luminance maximale correspond à la valeur radiométrique 255. Une valeur radiométrique quelconque peut donc être reliée à la luminance correspondante au moment de l'enregistrement par une relation (Robin, 2002) :

$$L = G (VR) + O$$

Avec

L= Luminance

VR= Valeur Radiométrique,

G= Gain, correspondant à la pente de la droite de régression de l'équation,

O=Offset, déduite des coefficients d'étalonnage fournies avec les images.

Les corrections radiométriques et atmosphériques appliquées sur les deux scènes ont été faites conformément à une chaîne méthodologique classique (Robin, 1995 ; Corgne, 2004) : passage des comptes numériques en luminances ; passage des luminances en réflectances planétaires.

Ces différentes étapes de la calibration des images ont été faites en utilisant les données intégrées dans le fichier de correspondance de chaque bande et ont été fournies gratuitement lors de l'acquisition des deux scènes. Pour approcher les réflectances au sol une troisième étape est faite avec le logiciel 5S sur les bandes TM1, TM2, TM3, TM4 et TM5 des images Landsat radiométriquement calibrées.

Ces différentes étapes sont illustrées dans le schéma ci-dessous (fig.89) et réalisées avec le module MODELE MAKER d'Erdas Imagine 8.5.

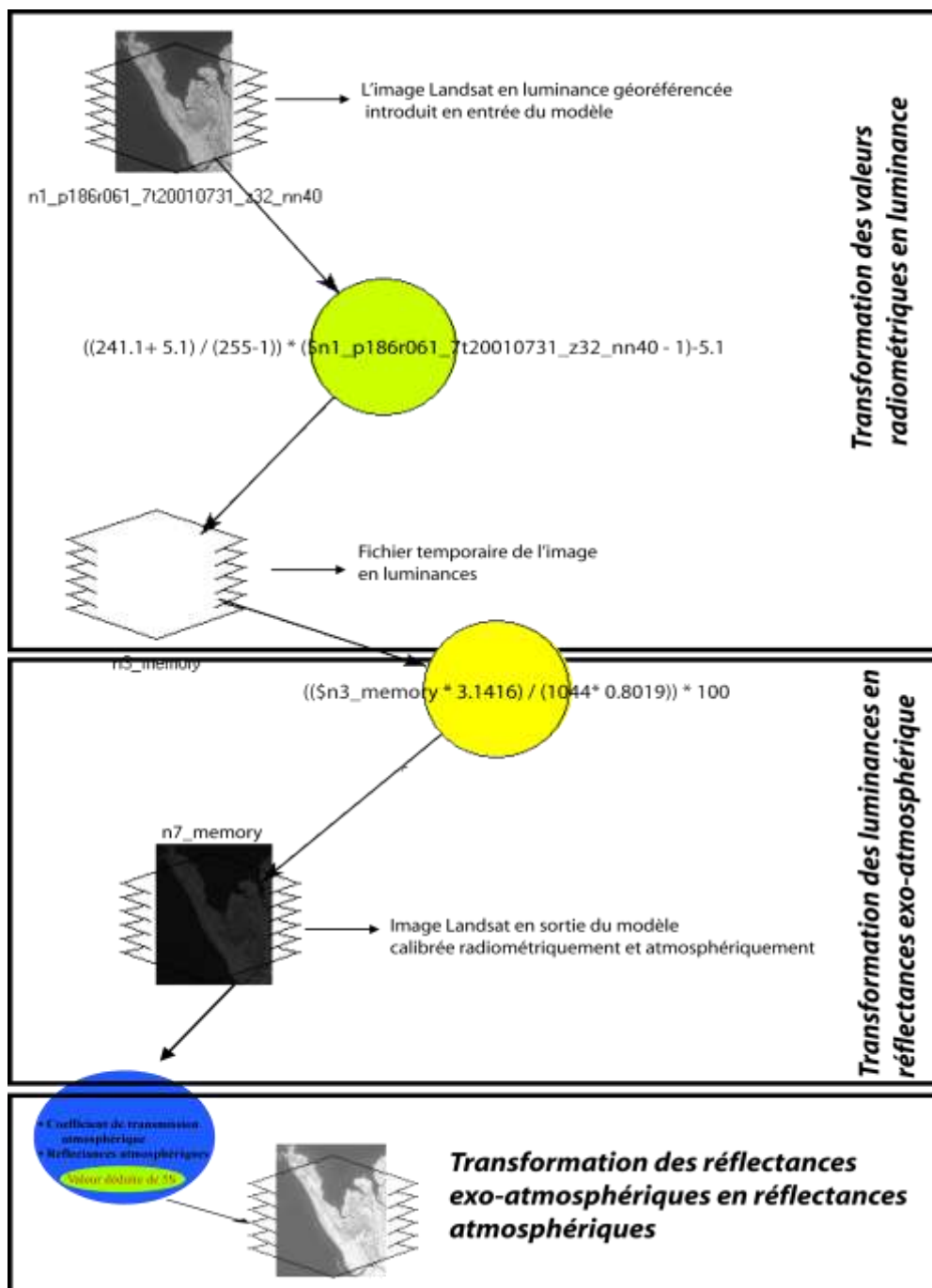


Figure 89 : Etapes de la calibration radiométrique de la bande spectrale TM4 de la scène du 31/07/2001

Le Modèle (script en langage SQL) de la même bande est illustré en [annexe B](#). Ce modèle de traitement bande par bande est appliqué à la totalité des images.

Au terme de ces corrections géométriques et radiométriques, un assemblage de scènes satellitaires est effectué et aboutit à des compositions colorées multibandes (ou images composites), nous disposons alors de deux images Landsat datant respectivement de 1990 et de 2001. Seules les bandes du PIR et du MIR sont utilisées pour les compositions colorées. Cette dernière étape est faite avec l'application STACKLAYERS d'Erdas Imagine 8.5.

4.3-CLASSIFICATION DES IMAGES LANDSAT TM 1990 ET ETM+ 2001

La seconde étape de l'étude de la dynamique de l'occupation du sol réunit la classification des images satellites et les traitements post-classifications.

La classification consiste à traduire sémantiquement les objets géographiques extraits d'une image suivant une nomenclature d'occupation du sol. Le but d'une classification est de regrouper des ensembles de pixels similaires en classes (Robin, 2002).

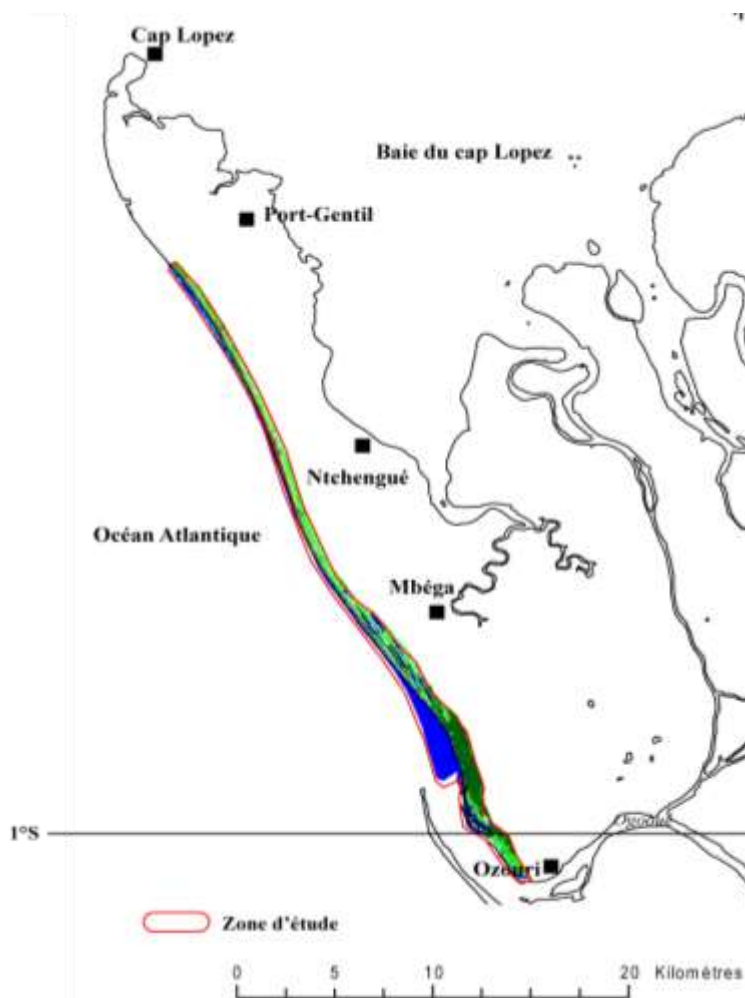


Figure 90 : Localisation de la zone d'étude

L'approche optée ici est une classification pixel par pixel dite classification supervisée ou classification par maximum de vraisemblance.

La zone géographique concernée par cette étude est le segment de côte situé entre l'embouchure de l'*Ogooué* et la station de pompage des hydrocarbures PG2 (fig.90)

Le choix d'une telle démarche réside dans le fait que nous connaissons parfaitement le milieu d'étude pour y avoir mené de nombreuses missions de terrain. En plus nous disposons de deux images composites qui permettent d'identifier, sans risque de se tromper, certains objets géographiques de notre zone d'étude. Six (6) classes sont alors ciblées et des parcelles d'entraînement sont définies sur chacune des images. A chaque échantillon, Erdas Imagine calcule les statistiques correspondant aux signatures spectrales individuelles des classes. Une fois les parcelles d'entraînement choisies, on procède à leur validation par la technique de séparabilité. À partir d'Erdas Imagine 8.5, on calcul une distance de séparabilité entre les classes.

4.3.1-Description des 6 classes d'occupation retenues

La typologie d'occupation du sol de notre zone d'étude se distingue par 6 classes décrites ci-dessous :

a) La savane

Elle regroupe aussi bien la végétation pionnière de la zone supratidale que la steppe tropicale.

Les herbacés pionniers psammophiles occupent les hauts de plages soumises à l'action des vagues pendant les marées de vives-eaux (fig.91). Ces plantes sont adaptées à un substrat très pauvre, très perméable, instable, modifié par le vent et l'eau. Dans ce contexte difficile les plantes revêtent un caractère morphologique particulier qui les rapproche physiologiquement : on parle de phénomène de convergence (Lebigre, 1983)

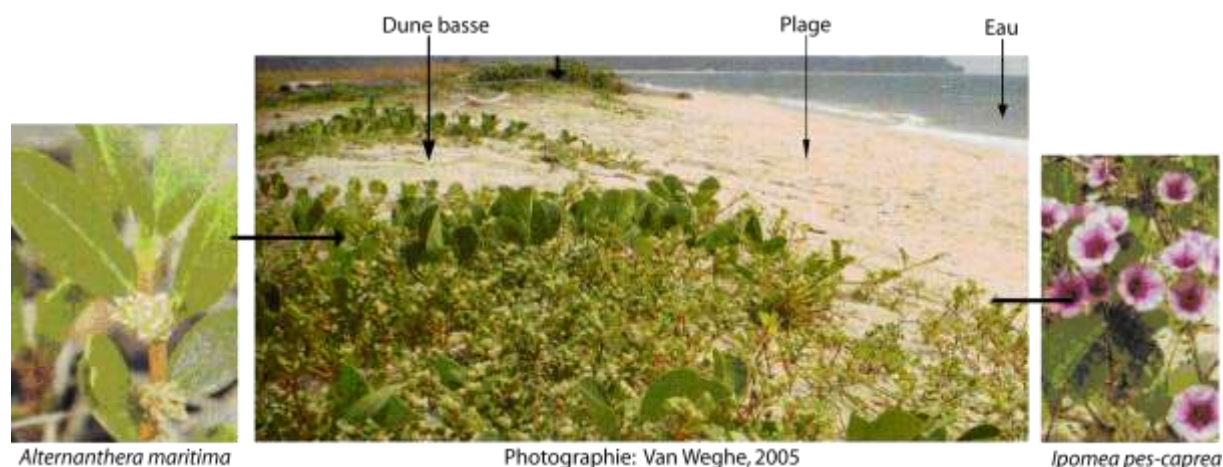


Figure 91 : Végétation dunaire (*Alternanthera maritima* et *Ipomea pes-caprea*)

Les facteurs météo-marins au niveau de la flèche Mandji conditionnent la dynamique des plages. Là où le trait de côte recule, les plages sont petites ou quasi inexistantes, la côte est occupée par la forêt. Par contre, là où elles avancent, les sables nouvellement déposés sont colonisés par des plantes pionnières, ce qui favorise la formation des dunes basses (fig.91). Ces plantes résistent plus ou moins à la présence du sel et produisent de longues tiges rampantes qui s'enracinent sur toute leur longueur (Vande Weghe J.P., 2005). Elles parviennent ainsi à recouvrir en si peu de temps de vastes espaces, captant ainsi les grains de sable chassés par le vent et amorcent la formation du cordon sableux.

Par la suite, d'autres plantes peuvent s'installer, ajoutées à la végétation pionnière, elles forment petit à petit une savane où, envahie par des espèces ligneuses, elle se transforme en une forêt (Vande Weghe J.P., 2005). Ce processus en trois phases de croissance de la végétation énonce clairement les différents stades d'évolution de la végétation supratidale. D'après Vande Weghe J.P. (2005), le phénomène s'appelle la succession ; Quelque soit la forme qu'elle prend, ce sont toujours les mêmes végétaux qui la composent et qui définissent les bandes successives observées sur le terrain. Les principales plantes pionnières rencontrées sont représentées ci-dessous (fig.92).

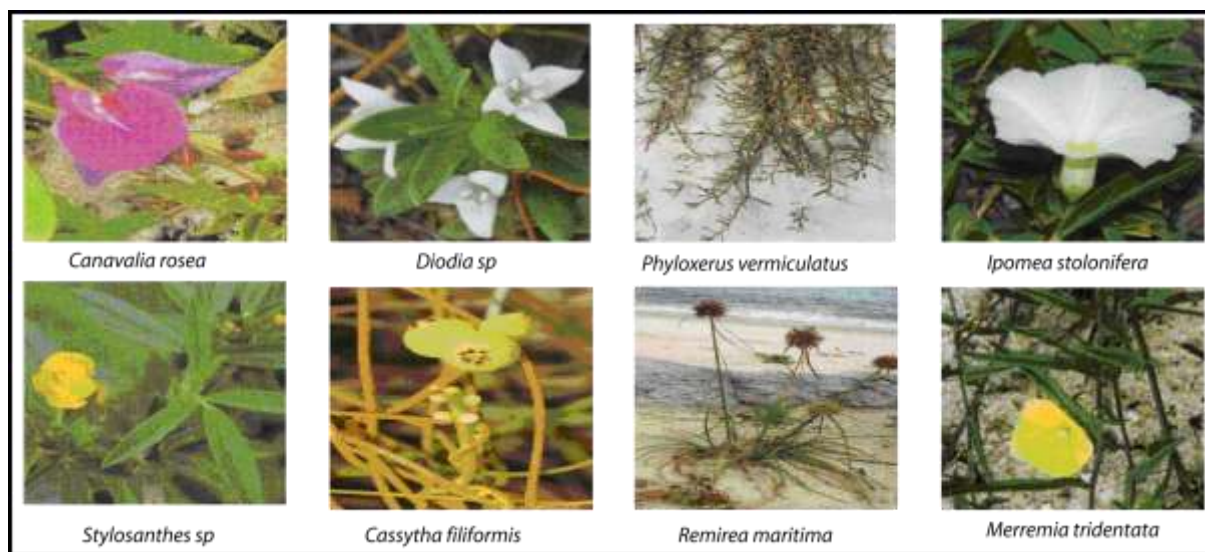


Figure 92 : Plantes pionnières

La colonisation des plages se fait en deux phases :

Dans un premier temps, seuls les vrais pionniers apparaissent (Vande Weghe J.P., 2005). Il s'agit entre autre d'*Alternanthera maritima* et d'*Ipomea pes-caprea* (fig.92). Ces deux plantes fleurissent durant une grande période de l'année et ont un large spectre de colonisation. Lorsque cette végétation est bien installée, elle forme un tapis rampant dense qui couvre l'arrière plage et la dune.

Dans une seconde phase, les conditions physiques aidant, d'autres plantes s'installent. C'est ainsi qu'émergent deux autres plantes, *Ipomea stolonifera*, *Stylosanthes sp.* et *Merremia tridentata* (équipées de mycorhizes) dans un milieu aussi pauvre que le sable blanc. Ces champignons qui vivent en symbiose avec les plantes, augmentent fortement les capacités d'absorption de celles-ci et facilitent donc leur implantation en milieu hostile.

D'après Vande Weghe J.P. (2005), si la dune touche la savane, elle sera progressivement colonisée par les herbes de la savane, si au contraire, elle touche la forêt, elle sera colonisée par des arbustes, puis des arbres et évoluera vers la forêt littorale.

Cette végétation pionnière résiste plus ou moins à la présence du sel marin. Après une grande marée d'équinoxe, comme cela peut se produire deux fois par an, il arrive qu'elle soit détruite. Le processus de recolonisation doit alors recommencer à zéro ou presque.

La steppe tropicale pousse sur les cordons sableux, et le plus souvent la forêt laisse place à des formations graminéennes (fig.93). Les touffes d'herbes n'assurent qu'un mauvais recouvrement du sol, ainsi on parle de steppe tropicale au lieu de savane.



Figure 93 : Savane humide (Vande Weghe, 2005)

b) La forêt (hygrophile et psammophile)

Les fourrés et la forêt littorale

Elle se développe face à la mer, sur les hauts de plages ou sur les rides des anciens cordons. Par endroits, elle forme des massifs isolés entourés de savanes (fig.94).

Cette forêt littorale constitue un stade avancé du processus de la succession qui débute par l'installation d'une végétation herbacée pionnière sur les cordons de basses dunes (Lebigre, 1987).

Lorsque la dune est stable ou lorsque le cordon se fossilise, des arbustes peuvent s'y installer. Les premiers colons, les plus communs sont *Dalbergia ecastaphyllum* et *Hibiscus tiliaceus*.

Beaucoup de ces plantes ont des feuilles persistantes plus ou moins coriaces et résistent à la force du vent desséchant de la mer. Elles forment une forêt dite sclérophylle.

Elles constituent le type spécifique de végétation qui pousse préférentiellement dans les vasières au Sud du Cap Lopez et le long du littoral de la baie d'Endougou.

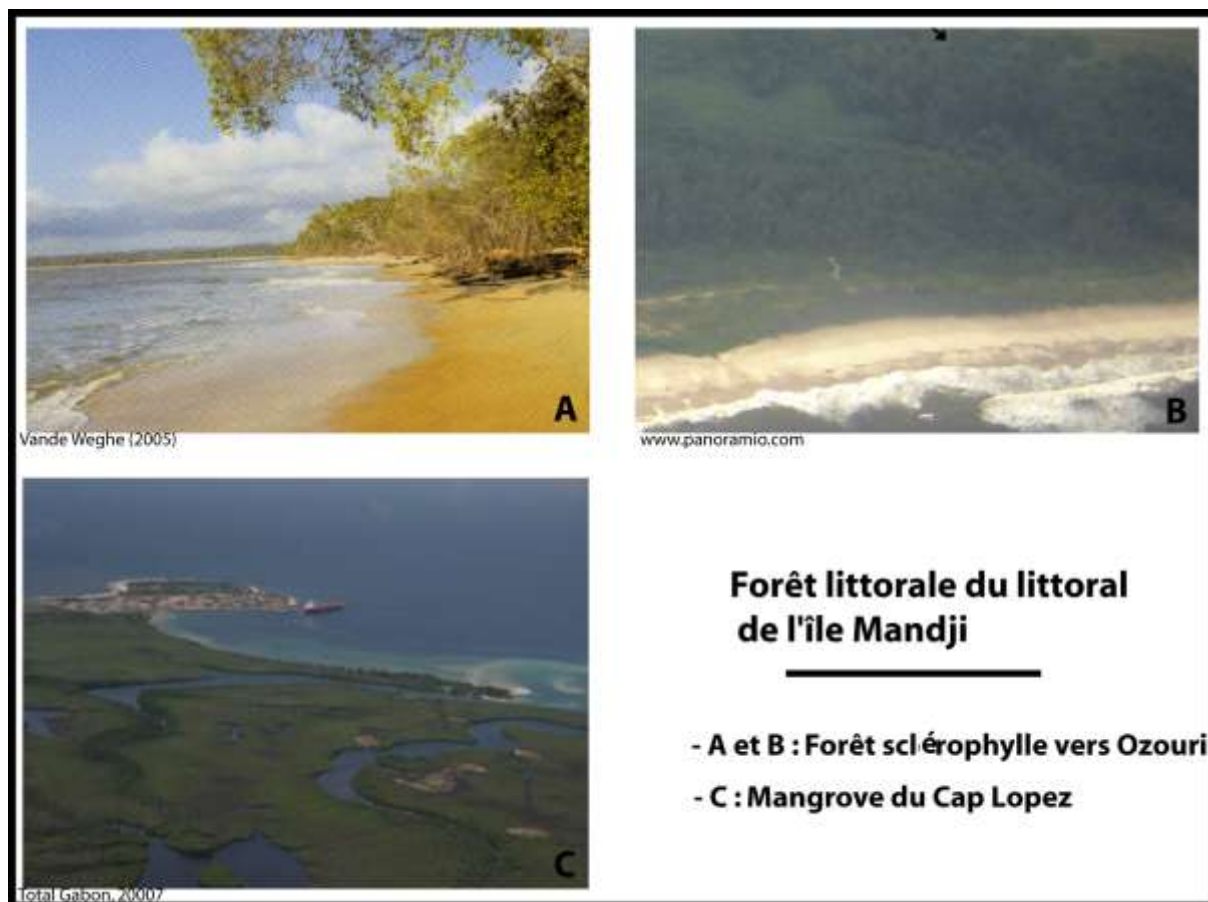


Figure 94 : Forêt littorale dans la région de Mandji

La composante principale de cet écosystème forestier est le palétuvier. C'est un arbre dont la taille moyenne oscille entre 10 à 40 m de hauteur. Équipés d'un système racinaire en échasse. Ces palétuviers supportent aisément la présence du sel, l'action des marées, des vagues et en sont tributaires de l'envasement de ce milieu.

On dénombre dans la zone d'étude, trois grandes familles de palétuviers (fig.95):

- la famille des rhizophoracées (palétuviers rouges): *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora mangle* et *Rhizophora harrisonii*
- la famille des avicenniacees (palétuviers blancs): *Avicennia nitida*
- la famille des combrétacées: *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*

L'occupation du sol de ces trois familles est fonction de la chimie des eaux. On constate que *Rhizophora Mangle* se développe normalement en front de mer, car elle supporte une assez forte salinité, tandis que *Rhizophora racemosa* colonise préférentiellement les eaux saumâtres.

En dehors de ces essences ligneuses, on dénombre aussi des grandes fougères (*Acrostichum aureum*, *Phytamodes scolopendria*, *Microsorium punctatum*), et à la limite entre la mangrove et la forêt on trouve des palmeraies à faux dattiers (*Phoenix reclinata*)

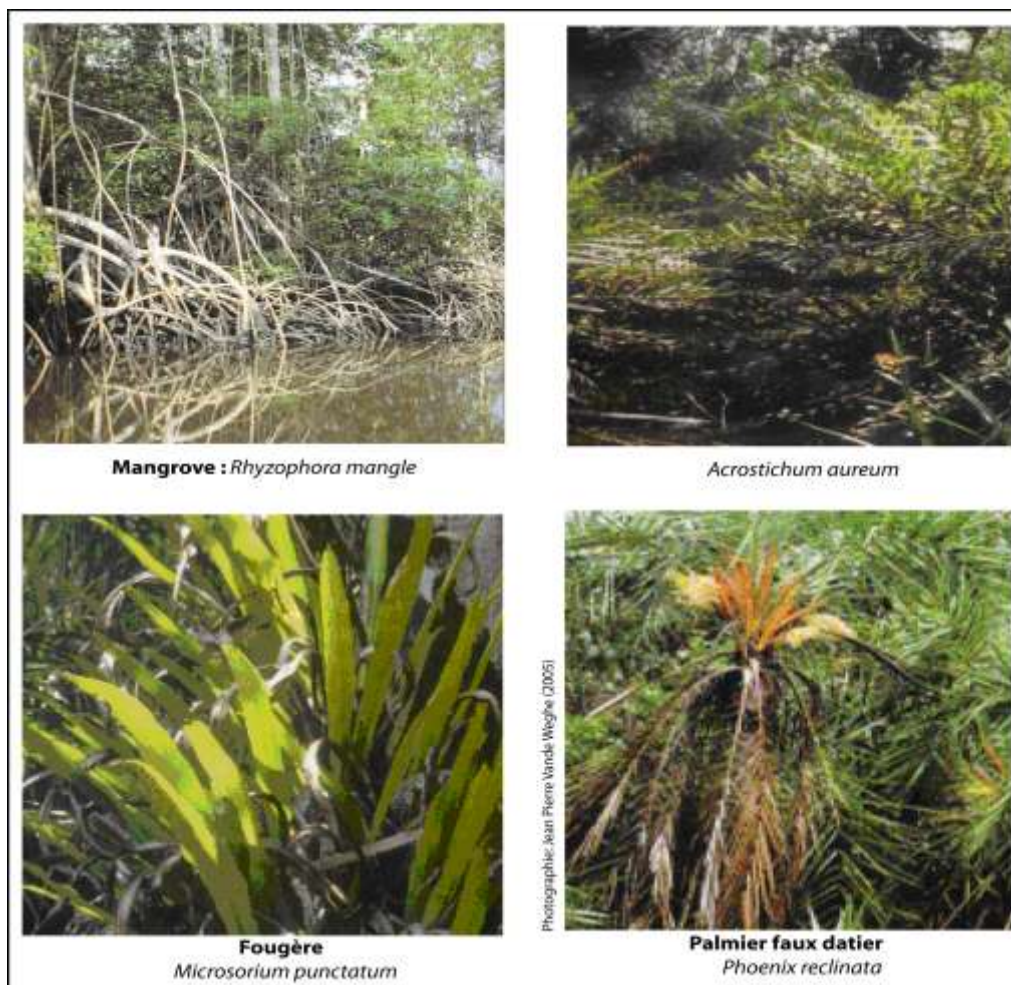


Figure 95 : Espèces dominantes dans la mangrove d'Ozouri

c) L'eau

Cette catégorie d'occupation regroupe l'ensemble de la nappe superficielle à savoir : les lacs, les rivières littorales et l'océan Atlantique. C'est une classe déterminante dans l'analyse des dynamiques de l'occupation du sol car sa quantité varie en fonction des saisons.

d) Les plages ou sol nu sableux

Cette classe d'occupation du sol intègre aussi les estrans sableux et les sols nus (sableux ou vaseux).

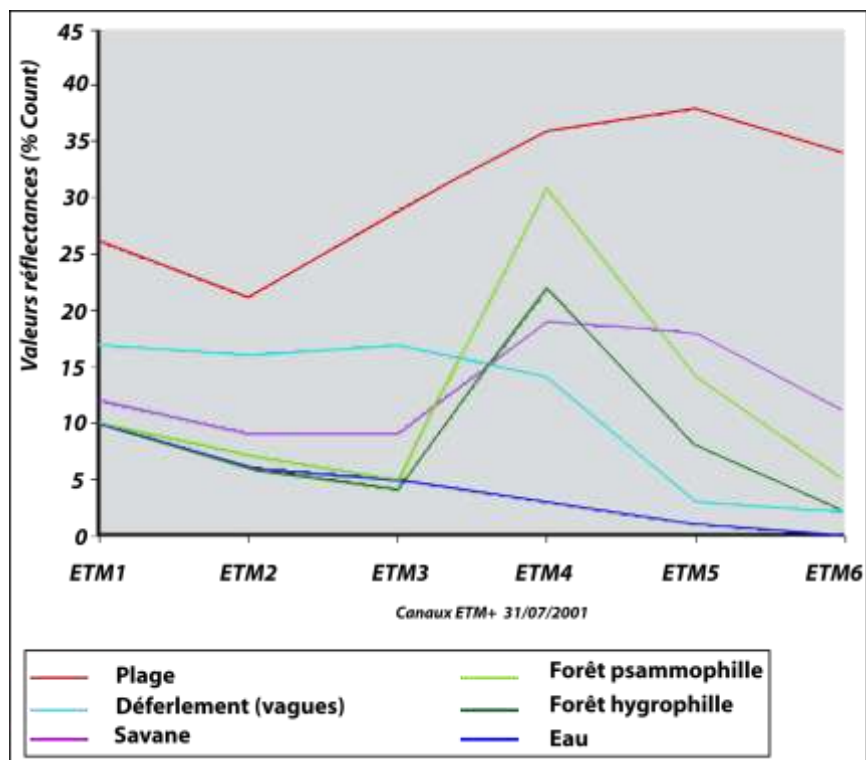
e) Le déferlement des vagues

Le déferlement des vagues sur la plage crée une classe radiométriquement distincte entre l'eau océanique et la plage sableuse. Ne pouvant pas attribuer ces pixels à l'une des deux classes on a choisi une classe dénommée « vagues »

4.3.2-Résultats des classifications

Les résultats issus des classifications sont de deux types : la cartographie de l'occupation et le calcul statistique des indices permettant de valider l'exactitude de la classification faite sur les deux images Landsat de 1990 et de 2001.

a) Signatures spectrales des échantillons des classes d'occupation du sol



Graphique 15 : Signatures spectrales à partir de l'image Landsat ETM+ du 31/07/2001

Le choix des largeurs des bandes dépend des propriétés spectrales de surfaces et des influences atmosphériques (Begni, 1981). La discrimination de types de surface repose sur le bon choix de bandes spectrales (Robin, 2002). Le graphique 15 présente sous forme de moyenne les différentes signatures spectrales de chacune des bandes spectrales de l'image du 30/07/2001 et cette opération est appliquée aussi sur l'image du 07/02/1990. La quasi-totalité des signatures spectrales ont une réflectance exo-atmosphérique oscillant entre 14% et 35% pour le proche infrarouge (bandes TM4 et ETM4) et entre 2% et 40% dans le moyen infrarouge (bandes TM5 et ETM5) à l'exception de l'eau avoisine 0% (< 5%) dans les deux images. Ce résultat semble

satisfaisant pour mener l'analyse diachronique de la dynamique de l'occupation du sol sur les deux images.

b) Résultats cartographiques des classifications

Image du 7 février 1990

La classification de l'image de 1990 s'est soldée par une occupation du sol correspondant à 3824 ha (fig.96). Proportionnellement, la répartition en pourcentage des aires de classes d'occupation est la suivante : eau=36; forêt psammophile=23; forêt hygrophile=20; plage ou sol sableux=5; savane= 16. La couverture végétale occupe à elle seule en moyenne 60% de la zone d'étude.

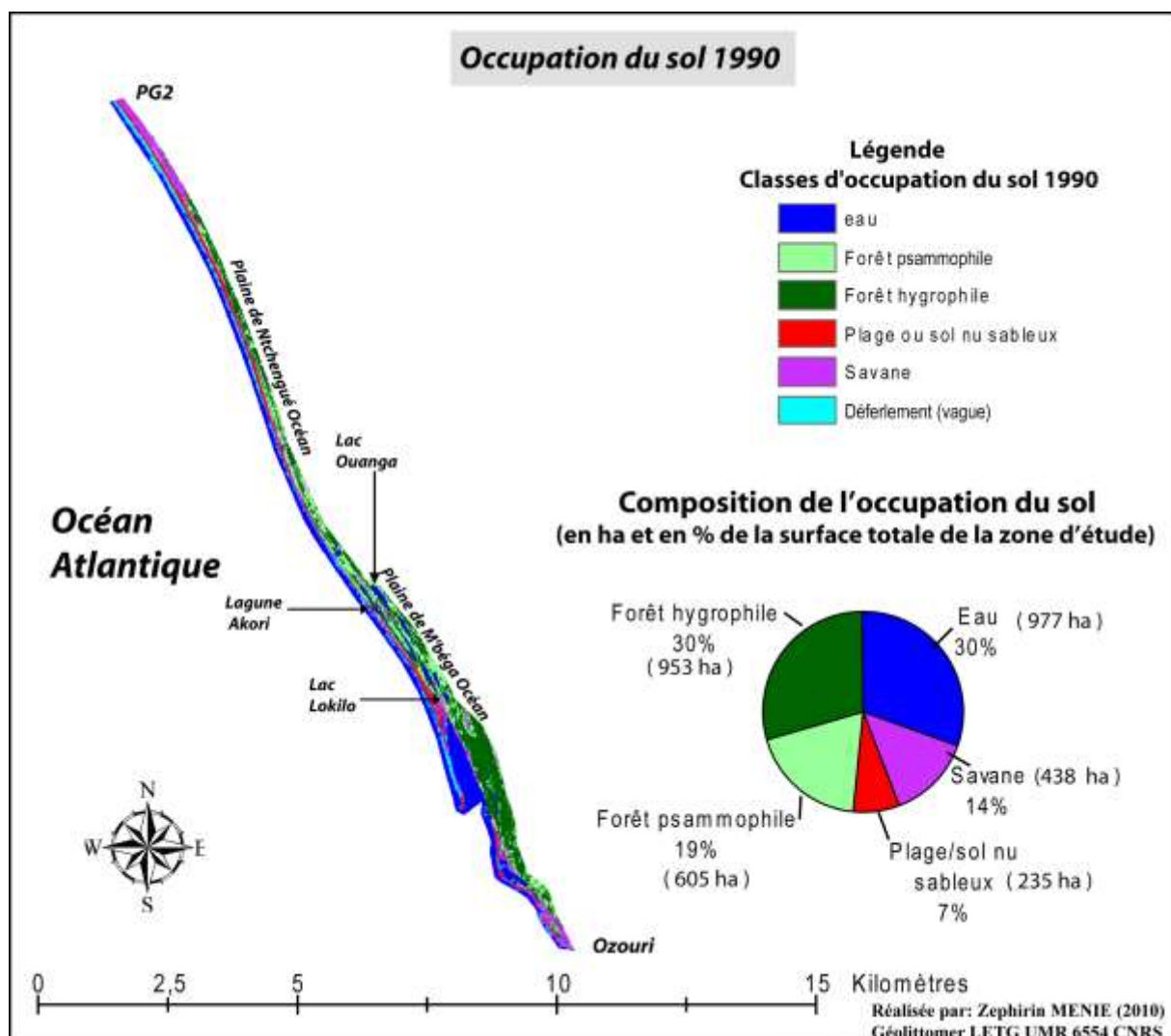


Figure 96 : Carte d'occupation du sol du segment de côte [Ozouri-Mbéga] en 1990

Image du 31juillet 2001

La répartition des effectifs surfaciques des classes d'occupation du sol donne les proportions suivantes (en %) (fig.97): eau= 36 ; forêt psammophile=20; forêt hygrophile=30; plage ou sol sableux=6; savane=8.

La couverture végétale représente en moyenne 58% de l'occupation du sol d'où un recul de 2% par rapport à la situation de 1990. On note une régression de la surface en savane de 8% par rapport à la situation de 1990 et l'aire en eau est restée constante.

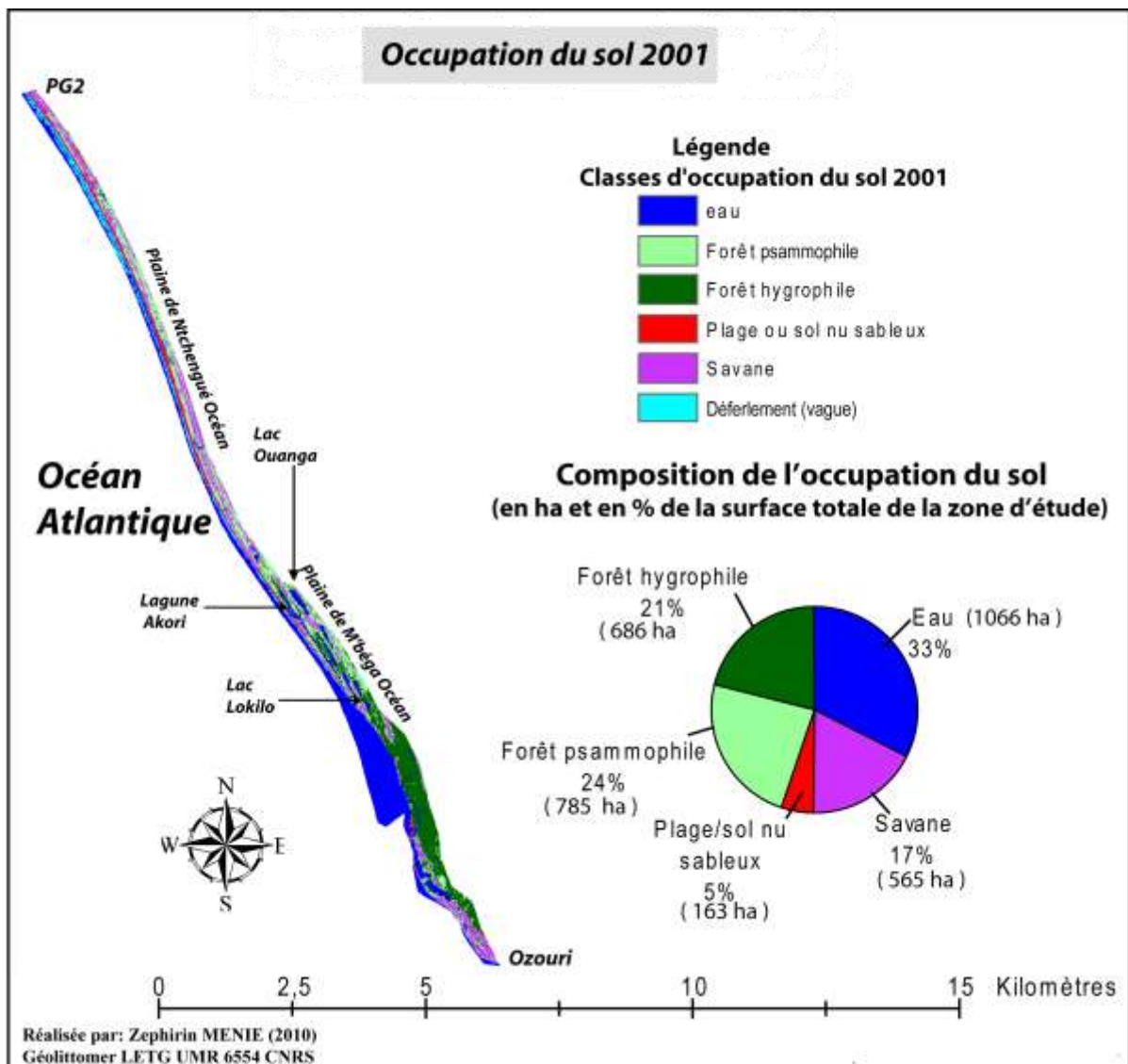


Figure 97 : Carte d'occupation du sol du segment de côte [Ozouri-Mbéga] en 2001

4.4- EVALUATION DES CLASSIFICATIONS DES IMAGES

L'étape suivante consiste à valider la qualité des classifications. Le résultat global est rendu sous forme de matrices de performance présentées par les tableaux ci-dessous (Tab.5). Les éléments de la diagonale inventorient les pixels correctement classifiés, les éléments en ligne correspondent aux pixels associés lors du traitement (Bonn et Rochon, 1996). Les colonnes représentent les données issues de la classification et les lignes indiquent les données des sites de vérification ou de la réalité de terrain représentée par les deux images Landsat 1990 et 2001.

Ces matrices ont été générées de façon automatique par le logiciel Erdas Imagine.

A partir de ces matrices, une estimation sur la base des indices calculés permet d'apprécier la qualité des classifications. Cette estimation se fait en indiquant pour chaque classe, les confusions qui sont apparues lors du processus de classification : *a priori* sur les échantillons d'estimation et *a posteriori* sur les échantillons de vérification (Ducrot, 2005).

Tableau 5 : Matrice de confusions issues des classifications des images de 1990 et de 2001

		Classification					
		Eau	Vagues	Savane	Plage ou sol sableuse	Forêt psammophile	Forêt hygrophile
Sites de vérification	1990 Eau	124	0	0	0	0	0
	Vagues	0	50	0	0	0	0
	Savane	0	0	76	0	18	0
	Plage ou sol sableuse	0	0	0	24	0	0
	Forêt psammophile	0	0	5	0	229	0
	Forêt hygrophile	0	0	0	0	0	1173
	Total	124	50	81	24	247	1173
2001		Classification					
		Eau	Vagues	Savane	Plage ou sol sableuse	Forêt psammophile	Forêt hygrophile
Sites de vérification	Eau	2753	0	0	0	0	0
	Vagues	0	28	0	1	0	0
	Savane	0	0	96	0	29	0
	Plage ou sol sableuse	0	0	1	30	0	0
	Forêt psammophile	0	0	26	0	235	4
	Forêt hygrophile	98	0	0	0	1	1018
	Total	2851	28	123	31	265	1022

Soit $n = 6$, le nombre de classes. La matrice de confusion Mc est une matrice 6×6

$Mc(i, i)$ représente le nombre de pixels de la classe i ayant effectivement été affecté à celle-ci après la classification.

$Mc(i, j)$ non diagonal est le nombre de pixels de la classe i ayant été affecté à la classe j

Les mesures suivantes sont effectuées :

- Précision ou "qualité utilisateur" $Puc(i, i)$, est le taux de pixels bien classés de la classe i

$$Puc(i, i) = Mc(i, i) / m_i$$

Avec m_i , la somme des points de la classe i dans l'image

- Erreur d'omission ou commission (%) = 100 - Précision ou qualité producteur (%)
- La précision globale de la classification est obtenue par la moyenne des pourcentages des pixels correctement classés (**MPCC**) et par l'indice de Kappa (**K**) (Congalton, 1991).

$$MPCC = 1/n \sum_{i=1}^n Puc(i, i) \text{ et } K = A/B$$

Avec

$$A = N \sum_{i=1}^n Mc(i, i) - N \sum m_i m_i$$

$$B = N^2 \sum_{i=1}^n m_i m_i$$

Le tableau n°6 ci-dessous constitue une synthèse des résultats issus des différents calculs faits sur la base des données de la matrice de confusion extraite des tables de calcul du logiciel Erdas Imagine 8.5.

Tableau 6 : Estimation de la qualité de l'utilisateur et du producteur des classifications			
1990			
Classes	Erreur d'omission (%)	Erreur de confusion (%)	Précision (%)
Eau	0	0	100
Vagues	0	0	100
Savane	19,14	6,17	80,86
Plage ou sol sableux	0	0	100
Forêt psammophile	2,13	7,28	97,87
Forêt hygrophile	0	0	100
MPCC = 98,64 %			
KAPPA = 97,26%			
2001			
Classes	Erreur d'omission (%)	Erreur de confusion (%)	Précision (%)
Eau	0	3,43	100
Vagues	3,44	0	96,56
Savane	23,2	21,95	76,8
Plage ou sol sableux	9,67	3,22	90,33
Forêt psammophile	11,32	11,32	88,68
Forêt hygrophile	7,96	0,39	92,04
MPCC = 96,29 %			
KAPPA = 56 %			

Le résultat final après le calcul des différents indices est largement satisfaisant. On obtient pour la classification de l'image de 1990 un indice MPCC=98 % et un KAPPA= 97% et pour la classification de l'image de 2001 un indice MPCC=96% et un KAPPA= 56%. La qualité de ces indices confère aux deux images des classifications de très bonne qualité et assez satisfaisante pour une représentativité de la réalité de l'occupation du sol entre les deux dates.

4.5- ANALYSE STATISTIQUE DES CHANGEMENTS DE L'OCCUPATION DU SOL ENTRE 1990 ET 2001

4.5.1-Approche statistique de l'information brute extraite des deux classifications

Une première approche statistique de la dynamique d'occupation du sol est effectuée sur la base des classifications des images de 1990 et 2001 dont les données brutes sont représentées dans le tableau ci-dessous (Tab.7). Cette analyse est faite à partir du calcul du taux moyen annuel d'extension spatiale des entités paysagères. Nous empruntons pour la circonstance la formule d'estimation de la croissance des agrégats macroéconomiques entre deux dates données (Bernier, 1992).

La variable considérée est l'aire (A) d'une classe i à une date t . Ainsi A_{1990} et A_{2001} , correspondant aux surfaces respectives d'une catégorie d'occupation des sols en 1990 et en 2001.

Le taux d'extension spatiale moyen annuel T_{ext} , est représenté par la formule suivante :

$$T_{ext} = (\ln A_{2001} - \ln A_{1990}) \times 100 / t \ln e$$

Avec :

t est le nombre d'années d'évolution

e la base des logarithmes népériens (avec $e = 2,71828$)

Les résultats obtenus figurent dans le tableau n°6 ci-dessous. La classe eau et vague sont regroupées en une classe unique Eau.

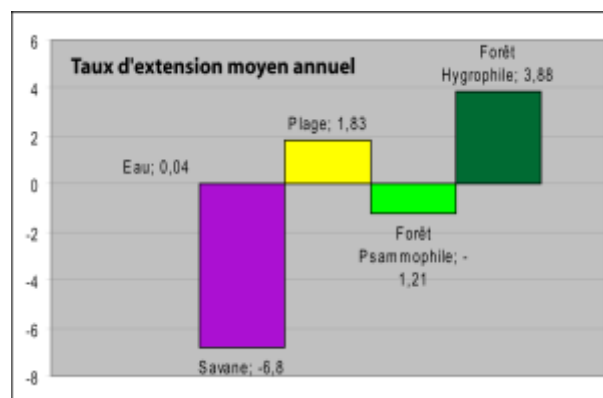
a) Résultats

Tableau 7 : Taux d'extension spatiale moyen annuel entre 1990 et 2001

	Image de 1990	Image de 2001	
Occupation du sol	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Taux d'extension spatiale moyen annuel (%)
Eau	1386	1379	-0,0
Savane	626	296	-6,80
Plage ou sol sableux	181	222	1,8
Forêt psammophile	868	760	-1,2
Forêt hygrophile	760	1165	3,8

Le taux d'extension moyen des classes thématiques à l'intérieur du site concerné se solde par un recul annuel de - 2,3 % (Graph.16).

- La surface en eau est quasi invariante entre les deux dates, même si l'on observe une disposition insignifiante au recul,
- Recul de la savane de 47 % entre 1990 et 2001 ; avec un taux de régression de 7 % par an,
- Extension des plages ou sol sableux de 40 ha, soit un taux d'expansion spatial moyen annuel de 2 %.
- Recul de la forêt psammophile de 108 ha, soit une régression annuelle de 1 %.
- Augmentation de la forêt hygrophile. En 1990, elle occupait une superficie de 760 ha soit 20 % du territoire, tandis qu'elle occupe en 2001 une superficie de 1165 ha. Soit une différence de 405 ha.



Graphique 16 : Répartition du taux d'extension spatiale moyen annuel par classe d'occupation du sol

b) Commentaires

L'analyse du taux d'extension moyen annuel des classes d'occupation du sol entre 1990 et 2001 révèle deux types d'informations :

- la régression de la savane et de la forêt psammophile à l'opposé de l'extension des forêts hygrophiles confirme une dynamique de l'occupation du sol liée à un phénomène de "succession" (Vande Weghe, 2005). Cette succession intervient après une suite logique définie dans cet ordre « 335 ha de savane (1990) se sont développés en forêt psammophile (2001); 108 ha de forêt psammophile (1990) se sont transformés en forêt hygrophile ; la superficie de la forêt hygrophile en 2001 a augmenté de 405 ha par rapport à la situation de 1990.
- la relative constance de la surface en eau avec une légère tendance à la régression de a un lien avec la variation saisonnière. L'image ETM+a été prise le 31 juillet 2001 donc en plein été correspondant à la grande saison sèche qui assèche quelques cours d'eau dans la flèche Mandji.

4.5.2- Les changements d'occupation du sol entre 1990 et 2001

L'analyse diachronique des changements de l'occupation du sol survenus entre 1990 et 2001 s'appuie sur les résultats d'une matrice de transition générée à partir du logiciel Erdas Imagine 8.5 (Tab.8).

Le résultat de cette matrice permet de décrire, de manière condensée, les changements d'état des classes d'occupation du sol pendant une période donnée (Schlaepfer, 2002). Le résultat est exprimé sous forme d'un tableau croisé 6×6 constituant la matrice des changements et de la carte des changements (Ducrot, 2005).

L'information diachronique intégrée dans les cellules correspond au nombre de pixel d'une classe déterminée ayant subi un changement ou pas de l'occupation du sol. Cette valeur est ensuite convertie en hectare unité utilisée pour la quantification de la superficie des classes. Ainsi 1 pixel équivaut à 0,09 hectare (ha) ou 900 m².

Les deux images sont croisées pixel par pixel pour obtenir une image en 36 classes porteuses elles mêmes de l'information diachronique. Il se dégage ainsi une image du changement du mode de couverture du sol survenu sur une période de 11 ans (Tab.8)

Tableau 8 : Matrice de changements d'occupation du sol entre 1990 et 2001

		Image 2001					
Nombre de pixels		Eau	Vagues	Savane	Plage ou sol sableuse	Forêt psammophile	Forêt hygrophile
Image 1990	Eau	9789	1094	606	492	407	731
	Vagues	1531	647	49	31	17	7
	Savane	338	210	1355	731	3442	885
	Plage ou sol sableuse	356	459	393	665	97	48
	Forêt psammophile	365	123	798	504	3933	3932
	Forêt hygrophile	396	18	93	44	553	7347
Total 2001		12775	2551	3294	2467	8449	12950
		42486					
1pixel a une résolution de 30 mètres ce qui correspond à une surface de 900 m ² , donc 0,09 Hectares							
		Image 2001					
surfaces en hectare		Eau	Vagues	Savane	Plage ou sol sableuse	Forêt psammophile	Forêt hygrophile
Image 1990	Eau	881,01	98,46	54,54	44,28	36,63	65,79
	Vagues	137,79	58,23	4,41	2,79	1,53	0,63
	Savane	30,42	18,9	121,95	65,79	309,78	79,65
	Plage ou sol sableuse	32,04	41,31	35,37	59,85	8,73	4,32
	Forêt psammophile	32,85	11,07	71,82	45,36	353,97	353,88
	Forêt hygrophile	35,64	1,62	8,37	3,96	49,77	661,23
Total 2001		1149,75	229,59	296,46	222,03	760,41	1165,5
		3823,74					

La représentation cartographique de l'information diachronique extraite de la matrice de transition est illustrée par la figure 98 ci-dessous :

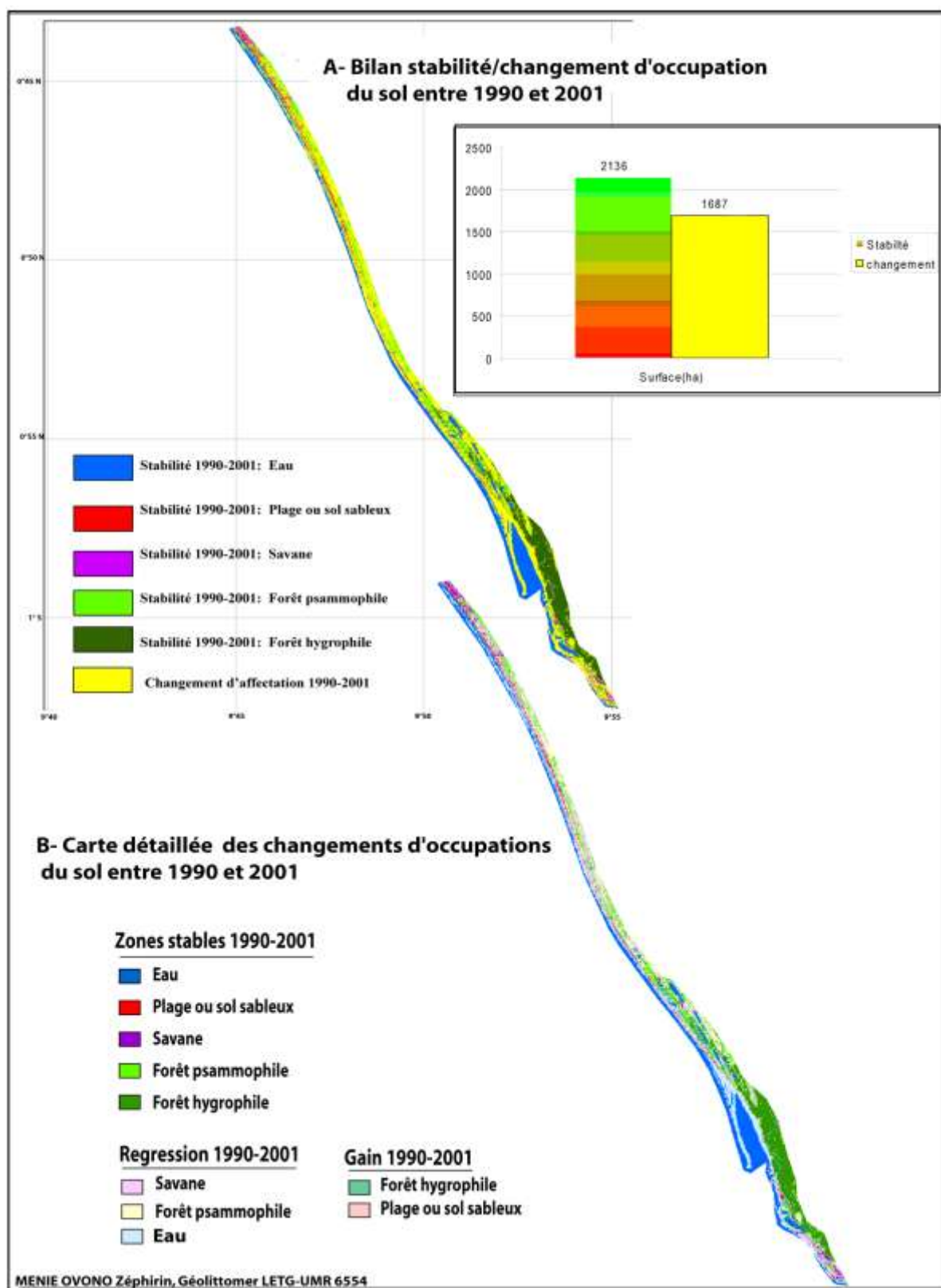
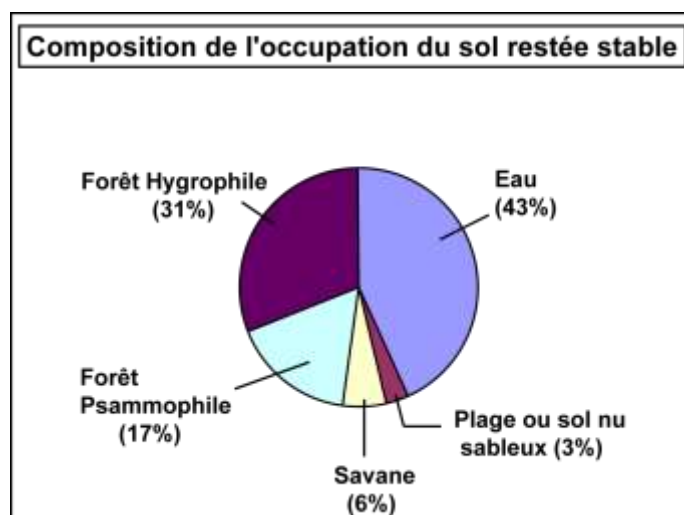


Figure 98 : Cartographie des transitions d'occupations du sol intervenu entre 1990 et 2001

a) Résultats bruts

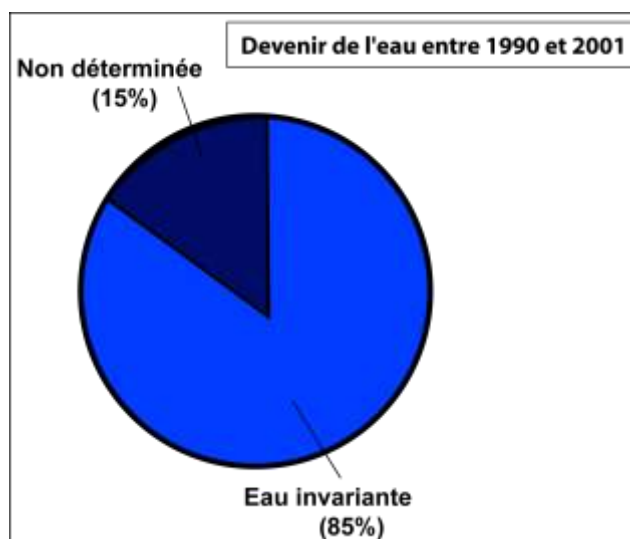
L'analyse croisée des deux images montre une évolution considérable du paysage entre 1990 et 2001. Ainsi sur les 3823 ha concernés par notre d'étude, environ 2136 ha ont changés d'occupation de sol et 1687 ha sont restés stables. Un compromis a été trouvé pour l'union de la classe eau et le déferlement des vagues en une superclasse "Eau".

- Occupation du sol restée stable



Graphique 17 : Part de l'occupation du sol restée stable entre 1990 et 2001

La fraction de l'occupation du sol restée inchangée est de 44% de la surface totale évaluée (Graph.17). Par rapport à la fraction totale stable, les plages constituent la classe la moins stable avec 3%. La stabilité décroît régulièrement de moitié de la classe forêt hygrophile vers la classe savane.

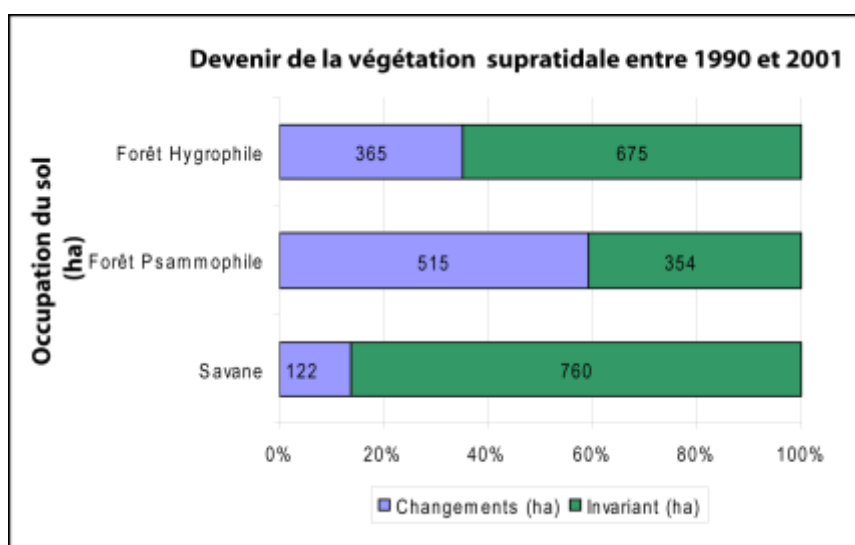


Graphique 18 : Affectation de la classe eau

La surface en eau est restée invariante à 85% (1175 ha) avec 15% (212 ha) de l'eau non attribuée à une classe d'occupation (Graph.18).

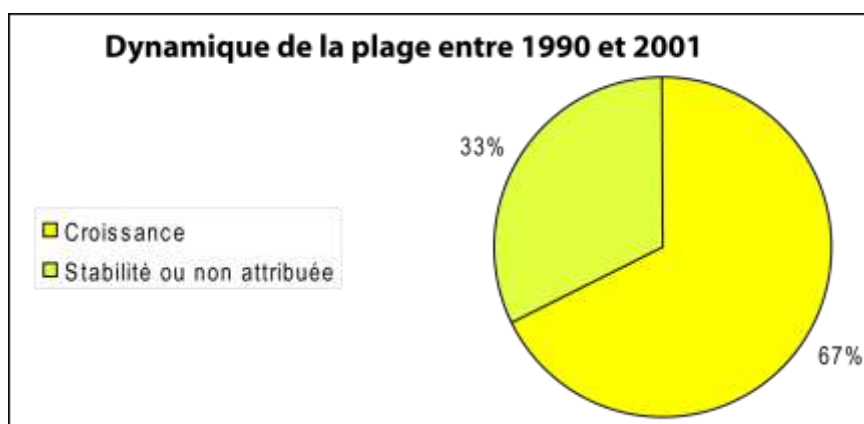
- Evolution de la végétation supratidale entre 1990 et 2001

Entre 1990 et 2001 la couverture végétale supratidale a connu une évolution mixte touchant particulièrement la forêt psammophile (60% de changement) et la forêt hygrophile (35% de changement) (Graph.19). Sur les 2790 ha regroupant l'ensemble des classes, 1000 ha ont connu des changements de leur occupation du sol. La savane est la moins concernée par cette évolution (18% soit 122 ha).



Graphique 19 : Réorganisation de la couverture végétale supratidale entre 1990 et 2001

- Evolution de la plage entre 1990 et 2001



Graphique 20 : Réorganisation de la plage entre 1990 et 2001

La dynamique de la plage entre 1990 et 2001 est marquée par une extension des plages, en effet 67% de la superficie de celle-ci a augmenté entre les deux dates seul 33% est resté invariable (Graph.20).

b) Commentaires

L'analyse des résultats issus de la matrice de transitions permet de tirer les enseignements suivants :

- la surface en eau est restée quasi invariante, et que la légère régression serait soit un fait climatique ou une erreur d'affectation des pixels lors de la classification des images. La saison sèche de faible pluviométrie entraîne forcément le tarissement de certains plans d'eau et constitue une des explications à cette différence entre 1990 (saison de pluie) et 2001 (Saison sèche).
- Les changements affectés à la dynamique de la couverture végétale supratidale sont dans la logique d'une évolution normale de l'écosystème forestier suivant le principe de la succession (Vande Weghe, 2005). Ce processus suit une logique d'évolution qui va de la strate herbeuse en strate forestière.
- Le transfert de la forêt psammophile en une forêt hygrophile. La forêt hygrophile est une forêt mixte qui occupe les dépressions causées par la juxtaposition des anciens cordons adjacents. Elle se rencontre surtout dans l'axe central de la flèche Mandji (Ntchengué, Mbéga). Son évolution est favorisée par une pluviométrie abondante et par l'affleurement quasi-permanent de la nappe aquifère dans les dépressions séparant deux cordons successifs. La conjugaison de ces deux éléments facilite la transition vers une forêt marécageuse ou inondée au détriment de la forêt psammophile adaptée à un substrat sec sableux.
- Extension de la forêt hygrophile entre 1990 et 2001. Ces forêts marécageuses se situent dans les dépressions humides et entre les replats des anciens cordons. Elles occupent la région des lacs Ouanga, Lokilo, Bamoua et Nguilombé) située le long du littoral entre Ozouri et Mbéga. Les forêts inondées de la région d'Ozouri correspondent, soit aux peuplements ligneux ayant fixés les limons provenant de l'Ogooué, soit à la forêt qui colonise les dépressions inondées par l'eau douce (Rabenkogo, 2005).
- Augmentation de la superficie des plages et des sols nus sableux. Entre 1990 et 2001 les surfaces des plages et des terres nues sableuses ont augmenté de 40 ha. Ces changements restent localisés pour la plupart dans la zone intertidale. Cette extension des plages est le fait conjugué d'un transit littoral important (500 000 m³ de sédiments par an) et par les

nombreux travaux d'aménagement effectués par les sociétés pétrolières depuis les années 70. C'est le cas par exemple des champs pétroliers PG2, Mbéga, Ozouri et le réseau de pipelines qui alimente le terminal du Cap Lopez la raffinerie de SOGARA (Société Gabonaise de Raffinerie).

4.6- CONCLUSION PARTIELLE

En somme cette étude a mis en évidence le lien indissociable entre la variation du trait de côte et l'évolution de l'occupation du sol des estrans associés. Elle a permis d'apprécier l'apport de la télédétection dans le traitement de la problématique de la dynamique côtière en mettant en évidence les atouts et les faiblesses d'une telle approche. Il convient donc de souligner que l'interprétation de l'occupation du sol, dans le cas de la flèche Mandji où l'on note une pénurie de données à références spatiales et multi-dates, est un outil indispensable pour la compréhension des dynamiques paysagères et pour la mise en place des plans d'aménagements de la région.

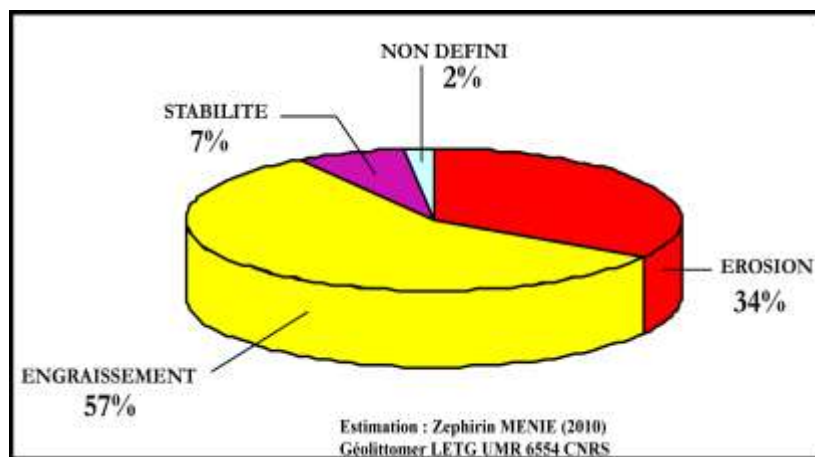
La rapidité avec laquelle s'opèrent les changements d'occupation du sol mérite que l'on accorde un intérêt particulier au suivi régulier de ce phénomène. Les résultats obtenus lors de cette étude se doivent d'être améliorés et nécessitent par conséquent, une acquisition des images haute résolution (2,5 m) et des mesures constantes sur le terrain.

CHAPITRE 5 : ANALYSE ET GESTION DE L'ÉROSION CÔTIÈRE DANS LA FLÈCHE MANDJI

INTRODUCTION.....	182
5.1-IMPACTS DE L'ÉROSION CÔTIÈRE.....	183
5.2- CARTOGRAPHIE DE L'ALEA.....	189
5.3-ENJEUX SUR LE LONG TERME ET LEUR CARTOGRAPHIE.....	194
5.4-REMEDIATION : ACTIONS A MENER.....	198

INTRODUCTION

L'érosion côtière est un processus naturel et dynamique influencé par les forçages naturels (vents, courants marins), et anthropiques (déboisement et l'occupation du territoire). Plus de 14 km de côte de la flèche Mandji sont touchés par ce phénomène. Quelques chiffres clés de la dynamique du trait de côte sont présentés ci-dessous (Graph.21). Sur la base des 40 km du linéaire côtier concerné par notre évaluation, il ressort que 34% de la côte de la flèche est touchée par une érosion et que la région du Cap Lopez et de la côte Ouest de la flèche sont les secteurs les plus concernés.



Graphique 21 : Synthèse de la cinématique du trait de côte de la flèche Mandji

Le but de ce chapitre est d'expliquer le phénomène dans son contexte global, de déceler les conséquences et de proposer des mesures de lutte contre cette érosion.

Pour atteindre cet objectif, on présentera :

- Les impacts du recul côtier et une cartographie de l'aléa
- Les enjeux sur le long terme et leur cartographie
- Les recommandations sur les politiques de lutte contre ce phénomène

5.1-IMPACTS DE L'ÉROSION CÔTIÈRE

L'érosion touche aussi bien les segments de côtes naturelles que ceux à forte emprise humaine. La cartographie de la dynamique du trait de côte pour la période [1962-2001] révèle des disparités dans la propension du phénomène. De ce fait, l'impact de l'érosion est donc fonction de la fréquence du phénomène, de son intensité et de la nature de la côte.

Dans le contexte de l'étude on dénombre trois formes d'impacts :

- Dévastation des aménagements installés en bordure du trait de côte,
- Destruction des ouvrages de protection côtière,
- Dégradation de l'environnement.

5.1.1-Destruction des aménagements situés en bordure de mer

a) Les habitations

L'érosion côtière provoque l'affaissement des clôtures des concessions et la destruction des soubassements des habitations construites en bordure de plage. Les murs de protection en béton se lézardent au fil du temps et finissent par céder sous la pression des vagues déferlantes.

Ces cas s'observent particulièrement le long de la plage du Dahu et au niveau du village des pêcheurs à Matanda.

b) Les installations pétrolières



Photo 13 : Recul du trait de côte au Sud du terminal (Menie, 2007)

Le bac de rétention et la plateforme du terminal pétrolier subissent des dégâts importants. Les glissements de la côte pendant les fortes tempêtes occasionnent la destruction de ces ouvrages. Le préjudice économique se chiffre à coût de milliards de franc CFA de dommages et constitue un casse tête pour la production pétrolière. Le dernier évènement enregistré date du 4 avril 2007. Le glissement du quai des Chalands a emporté le mur en béton du bassin de décantation, suivi du déversement du pétrole dans la mer (Photo 2).

La menace concerne aussi les pipelines qui sont découverts par l'érosion. La photo 13 prise le 4 Juin 2007 pendant ma mission de terrain au Gabon témoigne parfaitement de l'actualité et de la récurrence des impacts au niveau de la crique des « éléphants ».

Un tableau récapitulatif des différents évènements survenus dans le secteur permet de mesurer l'ampleur des dégâts et le préjudice causé (Tab. 9).

Tableau 9 : Rétrospective des événements majeurs survenus aux Cap Lopez

Evénements majeurs, côte Est:

Date	Lieu	Type d'événement	Ampleur	Solution
1958	Lac des Baleiniers	Erosion	Risque de perdre le Lac des Baleiniers	Epis Pte Odden (NE/N/O) + mur vibrofloté (1973)
1971	Quai des Chalandes	Glissement	Renard sous le coin NE de l'ancien quai	Comblement renard
1971	Pte Odden	Glissement	3 millions de m ³ de sable en 48h / recul de la côte de 200 m	Surveillance de l'évolution de la Pte Odden + diverses études
1979	Pte Odden	Situation à risque	Les pentes sont de nouveau trop importantes	Délestage de la zone Nord par dragage
1992	Pte Odden	Glissement	Taille modérée	
1993	Quai des Chalandes	Glissement	Glissement au droit des émissaires, pas de dégâts	
1995	Quai des Chalandes	Glissement	Glissement du mur de palplanche au droit des émissaires	Réparation et prolongation du mur de palplanches
1997	Pte Odden	Glissement	Taille modérée	
2004	Quai des Chalandes	Glissement	Glissement au milieu du quai	
2005	Pte Odden	Glissement	De l'ordre du glissement de 1971	
2006	Quai des Chalandes	Glissement	Glissement au coin Nord du quai	
2007	Quai des Chalandes	Glissement	Glissement du mur de palplanche au droit des émissaires	Réparation du mur de palplanches

5.1.2-Destruction des voies de communication

La nationale L123 qui relie le Cap Lopez à Port-Gentil est constamment détruite par l'érosion côtière (Photo 14 et 15). Les événements surviennent souvent lors de périodes de fortes tempêtes.



Photo 14 : Destruction de la nationale L123 en Mai 2007 (Menie, 2007)



Photo 15 : impact de l'érosion sur la L123 en Mars 1999
(VEROTTE, 1999)

L'érosion marine s'opère par l'attaque du talus côtier dont la crête supporte la chaussée. Il s'en suit une désagrégation des sols exposés à l'assaut des vagues hautes par temps de grandes tempêtes.

5.1.3-Destruction des ouvrages de protection côtière



Photo 16 : Destruction du mur de protection « Saout » (Menie, 2007)

Afin de stopper le recul du trait de côte causé par l'érosion régressive de la tête du canyon, Elf Gabon a érigé un mur en béton latérite en 1983. La fragilité des matériaux et l'intensité de l'aléa compromettent les objectifs premiers de cet ouvrage. Depuis une décennie on assiste à une dégradation de ce mur (Photo 16)

Même si le littoral de Port-Gentil semble relativement à l'abri des houles de direction SW, il n'en demeure pas moins que cette côte de fond de baie subit une érosion très vive comme l'atteste le franchissement et la dégradation du rideau de palplanches et de petits perrés bétonnés d'une dizaine de mètres qui longent le boulevard du front de mer (Photo 17).



Photo 17 : Dégradation des palplanches le long du bord de mer de Port-Gentil (Mombe, 2000)

La destruction des palplanches résulte de l'action mécanique des facteurs météo-marins (déferlement des vagues) et de l'action chimique de l'eau de mer sur le métal (corrosion). On note aussi la formation à l'arrière des palplanches des crevasses qui ont tendance à évoluer si rapidement que les palplanches peuvent se retrouver finalement loin derrière le nouveau trait de côte.

5.1.4- Dégradation de l'environnement

La dislocation du talus côtier et le déracinement des arbres en bordure de côte constituent les impacts majeurs sur le milieu naturel.

Aux confins de l'eau océanique et la terre émergée, les espèces végétales arbustives colonisatrices présentes au Cap Lopez et sur le front de mer de Port-Gentil sont le *Terminalia catappa*¹⁹ communément appelé le « badamier » et le cocotier. Les deux arbres poussent naturellement et sont parfois plantés par les services municipaux pour stabiliser la côte.

Le déferlement permanent des vagues sur le talus côtier du haut des plages accélère le déracinement des badamiers et des cocotiers (Photo 18). Ce résultat constitue manifestement la preuve la plus patente de l'intensité de l'érosion marine sur cette côte.

¹⁹ Espèce tropicale, c'est un grand arbre ornemental de forme pyramidale dont les feuilles deviennent rouge en saison sèche. C'est un Combrétacée dont les fruits contiennent des amandes au goût apparenté à celui des noisettes.



Photo 18 : Déracinement des badamiers sur le haut de plage (Mombé, 2000)

5.2- CARTOGRAPHIE DE L'ALEA

Il est question ici d'une cartographie sectorielle de l'érosion dans le but d'aboutir à une vision synthétique et homogène de l'aléa. La zone d'étude est ainsi découpée en trois grandes zones correspondant respectivement aux différentes cellules morpho-sédimentaires identifiées à partir des conditions de forçages (houles, marées, courants marins, vents).

Le découpage en classe d'aléa tient compte de l'évolution récente du rivage. Il est basé sur le caractère chronique de l'aléa et de son amplitude:

La carte de l'aléa représente les faciès morphologiques, les aménagements et la typologie de l'aléa. La couleur attribuée de manière arbitraire permet de caractériser le type d'érosion.

La caractérisation de l'aléa est faite en cinq classes auxquelles on affecte un coefficient en fonction de son amplitude et de sa fréquence :

- **érosion par glissement de la côte.** Ce sont des glissements de plages qui surviennent lors de grosses tempêtes. Ce type d'érosion touche particulièrement le littoral situé entre la pointe Odden et le quai des Chalands.

- **érosion par curage fréquent des fonds marins.** On rencontre ce type d'érosion dans les zones portuaires situées du côté de la baie soumis à un phénomène d'envasement. Afin de maintenir les profondeurs constantes, les administrateurs des ports procèdent systématiquement à un curage des fonds, facilitant ainsi la navigation des bateaux.

- **érosion régressive de la tête du canyon.** Les études bathymétriques effectuées au Nord du phare du Cap Lopez ont révélé la présence d'un canyon sous-marin. Le recul de sa partie sommitale donne la forme incurvée de la côte.

- **érosion induite par les forçages marins.** L'exposition de la côte Ouest de la flèche aux houles de direction W et SW favorise (par une action mécanique liée aux déferlements des vagues) à certains endroits un recul important du trait de côte.

- **érosion liée à la sur-fréquentation et aux prélèvements des sables de plages.** Les activités balnéaires et l'extraction des sables déstabilisent l'équilibre morphodynamique des plages. La plage du Dahu est la plus touchée par ces pratiques.

- **les zones d'accrétion.** Elles regroupent les côtes marquées par un engraissement ou par une érosion négligeable (ou non déterminée).

- **érosion provoquée par les activités pétrolières.** Certains puits et champs pétroliers situés à l'arrière des plages détruisent les dunes et remobilisent les sédiments des plages.

Un découpage de la zone d'étude en 3 secteurs géographiques (Cap Lopez, Port-Gentil et N'tchengué) aboutit à trois cartes de l'aléa représentées ci-dessous.

Le codage de l'aléa est fait sur la base de la quantification de la cinématique du trait de côte faite au Chapitre 3 (cf. fig.54 et fig.64). Les résultats issus de cette étude permettent de définir 4 types d'aléas :

- Accrétion, on lui octroie la valeur 0
- Erosion avérée de forte intensité (valeur =1), d'intensité moyenne (valeur=2) et de faible intensité (valeur=3),

L'estimation de la fréquentation des plages est faite selon une observation personnelle pendant une durée de 6 mois. Le codage de la fréquentation est fait sur un comptage du nombre de touristes rencontrés tout les samedis après-midi sur ces plages.

Secteur du Cap Lopez

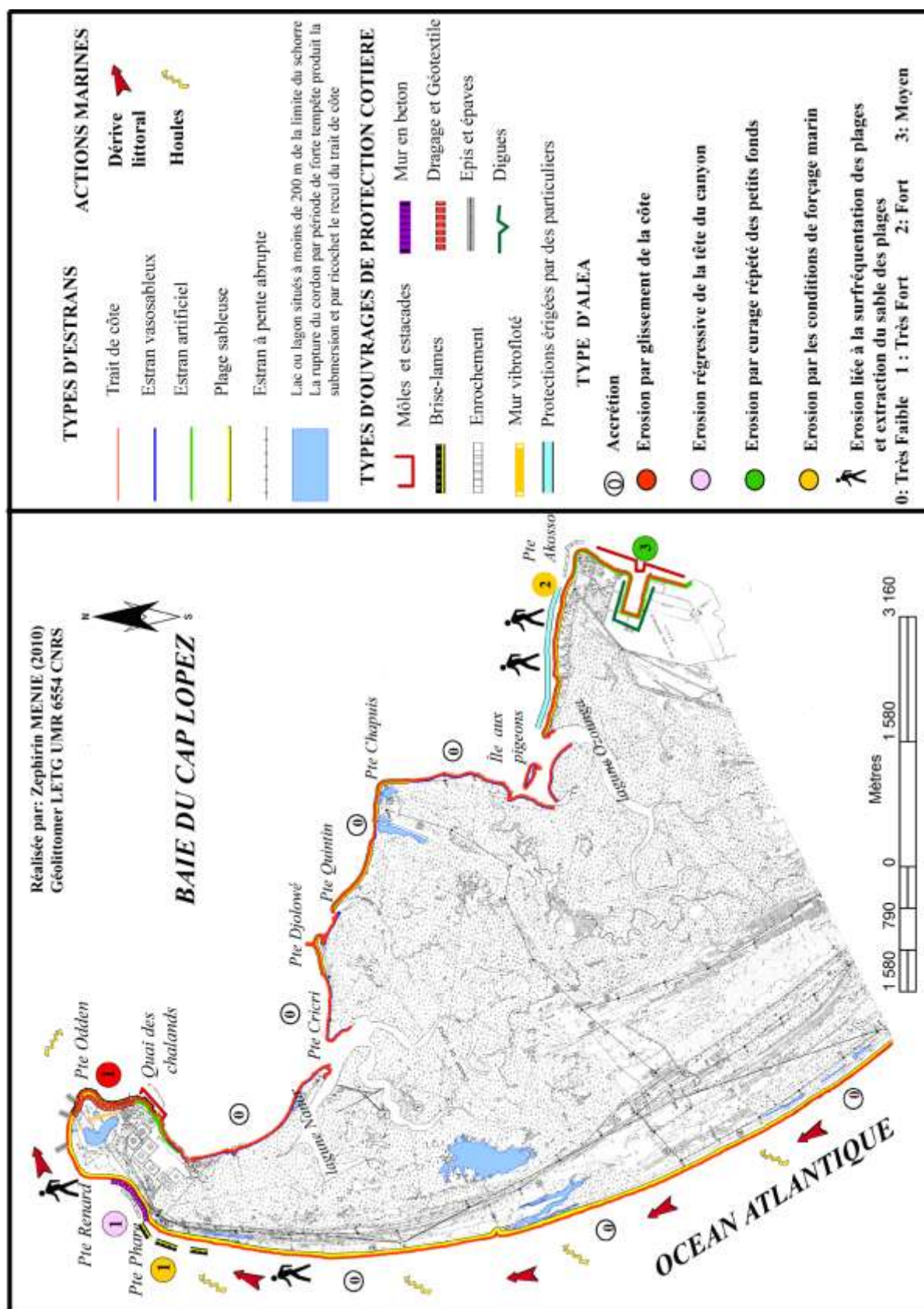


Figure 99 : Carte de l'érosion côtière dans la région du Cap Lopez

Secteur de Port-Gentil

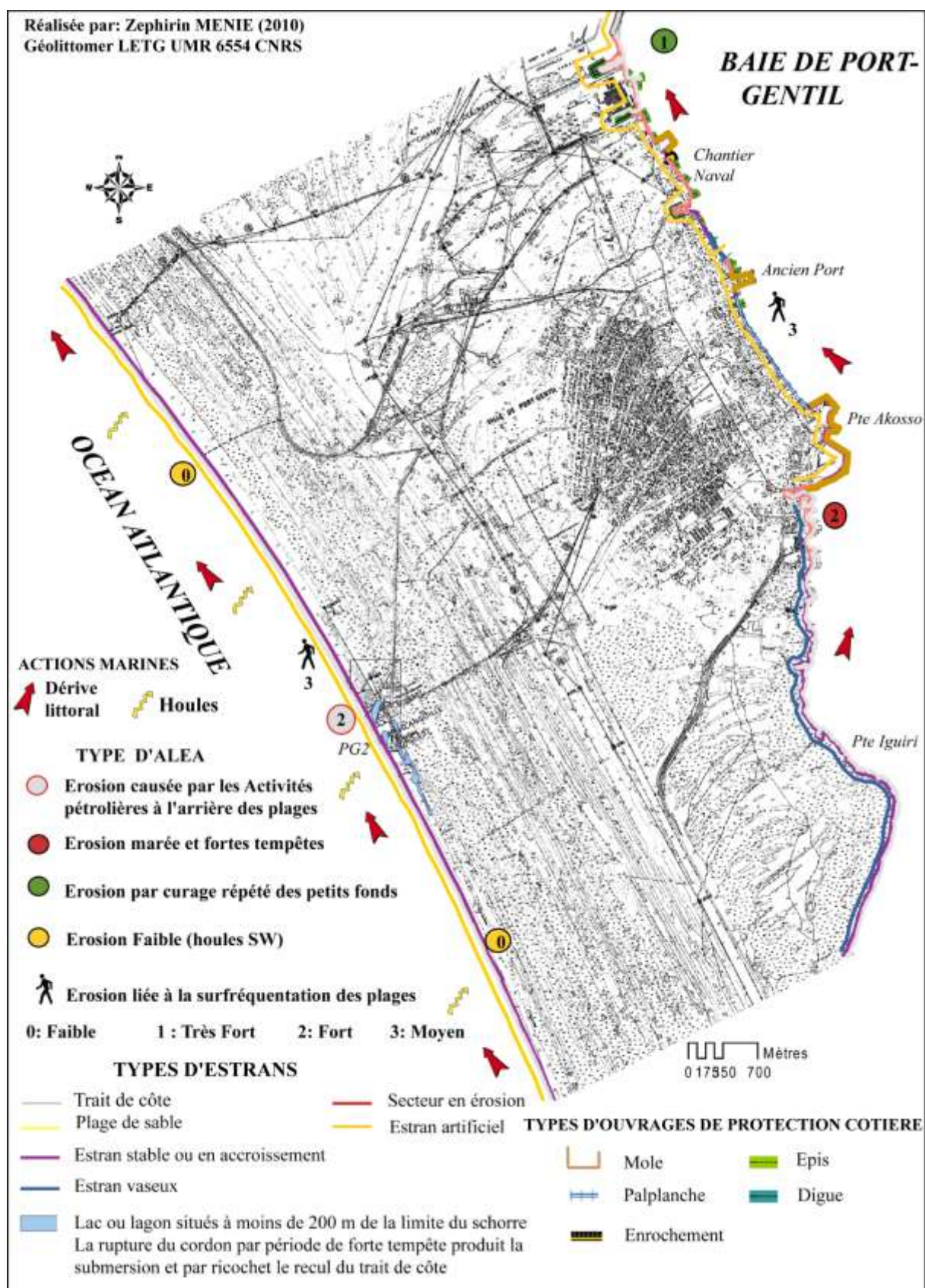


Figure 100 : Carte de l'érosion côtière dans la région de Port-Gentil

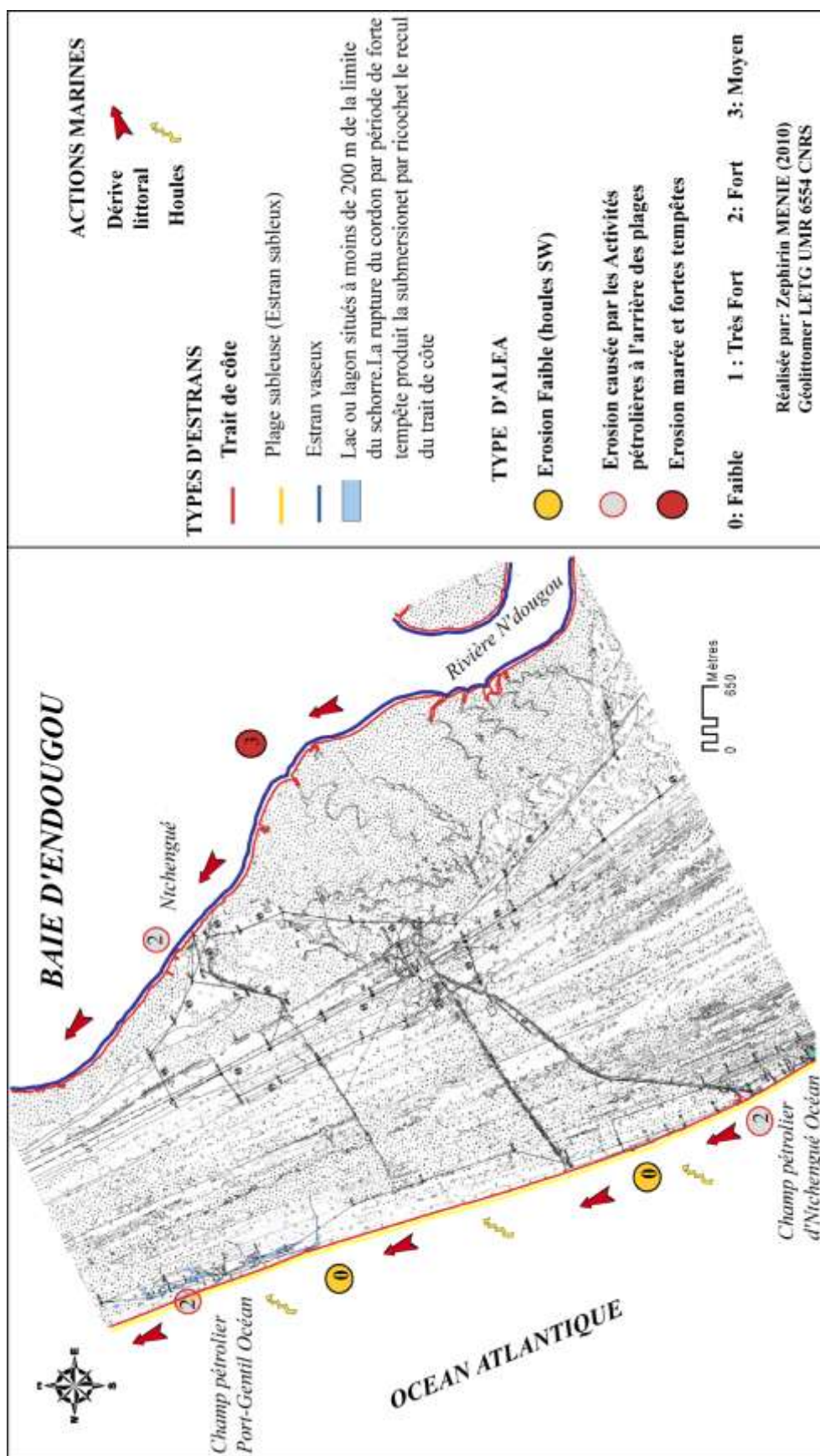


Figure 101 : Carte de l'érosion côtière dans la région de N'tchengué

5.3-ENJEUX SUR LE LONG TERME ET LEUR CARTOGRAPHIE

Le résultat de l'analyse de l'évolution du trait de côte montre que l'érosion se manifeste différemment en zone urbaine (i) et zone naturelle (ii).

- (i) Les secteurs de côtes anthropisées représentent des enjeux socio-économiques majeurs qu'ils convient de sécuriser. La présence d'un risque évident conduit systématiquement à la mise en place des ouvrages de protection ou si nécessaire à la délocalisation des biens et des personnes.
- (ii) Les secteurs de côtes naturelles recèlent une grande richesse écologique qu'il convient de préserver.

5.3.1- Descripteurs des enjeux

Des « descripteurs des enjeux » ont été identifiés en s'inspirant du modèle du rapport d'étude « Orientations stratégiques pour la gestion de l'érosion en Languedoc-Roussillon ²⁰ » (2003).

Deux catégories d'enjeux sont traitées:

- Enjeux socio-économiques : urbanisation, population, tourisme, plages et espaces de villégiatures, établissement sociaux sensibles, infrastructures, zone d'activités (Port, champs pétroliers, industrie du bois), terrains agricoles ;
- Enjeux patrimoniaux : protection réglementaire (prohibée à toute installation humaine due à l'exercice d'une activité dangereuse ou zone stratégique), milieux naturels.

La classification des enjeux répond à un certain nombre de critères élucidés par les « descripteurs des enjeux » (Tab.7). Elle permet d'établir une cartographie de synthèse des enjeux qui d'après le Groupe Thématique Erosion (Orientations Stratégiques pour la Gestion de l'Erosion du Languedoc-Roussillon, 2003), constitue un outil d'aide à la décision pour définir les secteurs sur lesquels les traitements contre l'érosion doivent être prioritaires.

Pour attribuer une valeur ou un coût aux différents enjeux socio-économiques, nous utilisons le PLB²¹ de la province de l'Ogooué Maritime (en millions de francs CFA). C'est un indicateur économique qui correspond à la production annuelle de biens et services des acteurs économiques de l'île Mandji (DGSEE, 2005).

PLB = PIB + (revenus des facteurs du travail et du capital en provenance de l'extérieur - revenus des facteurs du capital et du travail versés à l'extérieur).

²⁰ « Orientations stratégiques pour la gestion de l'érosion en Languedoc-Roussillon », 2003. Dans un contexte d'érosion généralisée, le Contrat de Plan Etat-Région 2000-2006 prévoit la mise en place d'un schéma de gestion du littoral. Dans cette logique, la Mission Interministérielle d'Aménagement du Littoral Languedoc-Roussillon a élaboré des orientations stratégiques pour l'aménagement du littoral. La gestion de l'érosion en est un des volets. 24p.

²¹ PLB : Produit Local Brut ; il est calculé sur la base du PIB (Produit Intérieur Brut)

Tableau 10 : Descripteurs des enjeux

DESCRIPTEURS ENJEUX PATRIMONIAUX		
Patrimoine historique Lieux d'histoire, Ancien comptoir commercial, Monument historique (le phare)		
Zone de protection foncière		
Paysage		
Types d'habitats	Espaces boisés	Forêt hygrophile à dominance de palétuviers
		Forêt tigrée de feuillus psammophiles
		Prairie arbustive
	Pelouses, pâturages naturels et broussailles	
	Vasières, cordons sableux	
	Lacs, lagons et lagunes littorales	
	Plages sableuses	
DESCRIPTEURS ENJEUX SOCIO-ECONOMIQUES		
Zones d'habitats	Denses	
	Moyennements denses	
Zones industrielles	Classe 1: activités pétrolières (extraction, transport, stockage, raffinage)	
	Classe 2: activité du bois (coupe, transport, entrepôts et traitements)	
Tourisme et activités balnéaires	Plages sableuses	Classe 1: Fréquentation forte et plages urbaines
		Classe 2: Fréquentation moyenne ou faible
	Hôtels, auberges et restaurants	
Equipements sensibles (incluant les équipements sociaux, administratifs, hôpitaux)		
Terrain agricole -Zones maraîchères, agriculture intensive (sur serres)		
Centres commerciaux (Magasins et Marcher populaires sur étales)		
Principales infrastructures	Ports	Classe 1: Port d'intérêt national / départemental
		Classe 2: Ports Pétroliers / plateformes
	Routes principales (bitumées ou latérité)	
	Canaux	
	Réseau de pipelines (gaz et pétrole)	

NB: la description est adaptation locale, il s'inspire du rapport d'étude

"Orientations stratégiques pour la gestion de l'érosion en Languedoc-Roussillon" (2003)

Tableau 11 : Valorisation des enjeux par application du Produit Intérieur Brut de Port-Gentil

PLB* des descripteurs socio-économiques / Secteur économique de Port-Gentil

Descripteurs		Secteur économique	Valeur du PLB**
Industrie pétrolière	brut (transport, stockage, exportation)	Primaire	973328
	raffinage (produits dérivés)	Secondaire	11404
	travaux publics (exploration, forage...)		13150
Industrie du bois	exploitation forestière	Primaire	2948
	transformations, dérivés diverses	Secondaire	3104
Agriculture	maraîchers, culture sous serres	Primaire	5040
	industrie agro-alimentaire	Secondaire	1771
Fabrication de boissons		Secondaire	3363
Batiments et travaux publics		Secondaire	13150
Commerce		Tertiaire	41900,2
Immobilier (habitats)		Tertiaire	7063,4
Hotels et restaurants		Tertiaire	43600

* Produit Local Brut

**Valeurs en Millions de Francs CFA

Tableau 12 : Description des enjeux sociaux par quartier du littoral de Port-Gentil

Répartition de la population par quartier du littoral (données RGPH*, 1993)		Proportion de la distribution des types d'habitats ménages/quartiers (données actualisées par le RGPH, 2005)	
Quartier	N/bre d'habitants	Proportion	Types habitat
Dahu/Sogara	800	Très forte	Moderne + Confort
Quartier industriel	500	Moyenne	Moderne + Confort
Littoral	1500	Très forte	Coloniale + Confort
Centre Ville	7500	Très forte	Coloniale + Confort
Akosso	800	Très forte	Moderne + Confort
Matanda	7500	Très faible	Moderne + Confort
		Très forte	Traditionnel

5.3.2- Cartographie des enjeux

a) Cap Lopez

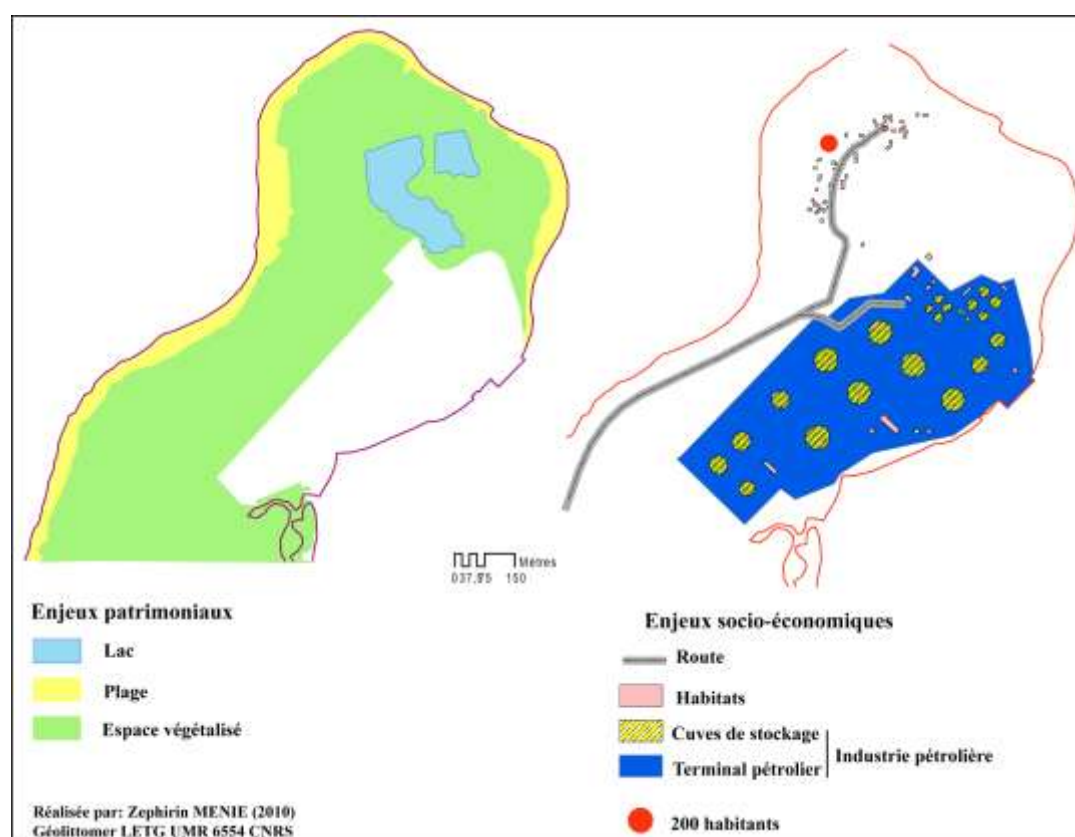


Figure 102 : Carte des enjeux patrimoniaux et socio-économiques au Cap Lopez

Dans la zone du Cap Lopez, on dénombre deux types d'enjeux (fig.102):

- *Enjeux patrimoniaux*

Ils regroupent le patrimoine historique (l'ancien phare, vestiges de l'ancien comptoir négrier), la zone de protection foncière (zone sensible interdite aux installations humaines), le paysage et habitats naturels (lac des baleiniers, les plages, la mangrove) ;

- *Enjeux socio-économiques*

La zone d'habitation (le village des pêcheurs), le terminal pétrolier, la national L123.

b) Port-Gentil

Une cartographie des enjeux de la bande littorale de 200 mètres de large par rapport à la laisse de haute mer. La carte A présente la répartition de la population et la typologie des habitations, tandis que la carte B se restreint aux enjeux économiques (fig.103).

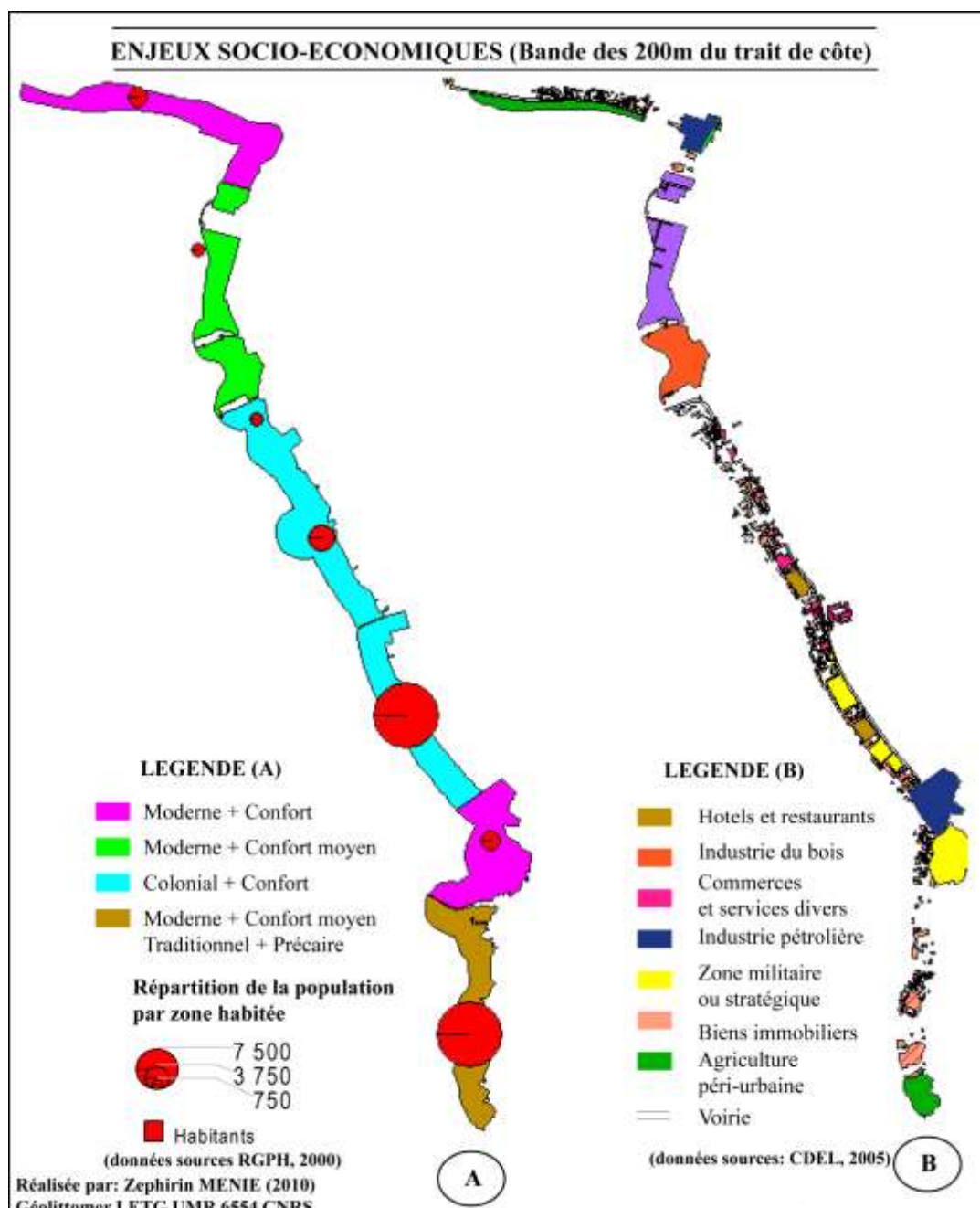


Figure 103 : Carte des enjeux socio-économiques du littoral de Port-Gentil (bande des 200 m par rapport au trait de côte). A- la répartition de la population et typologie des habitations ; B-enjeux économiques

5.4-REMEDIATION : ACTIONS A MENER

5.4.1- Organisation du traitement de l'érosion

La prise de conscience du risque pesant sur les biens et les personnes est réelle dans l'ensemble des pays du golfe de Guinée. Les initiatives de lutte contre ce phénomène sont certes limitées à l'échelle de chaque pays, mais l'ampleur des dégâts causés amène les états de la sous-région à une organisation ou à une coordination d'ensemble. Des initiatives régionales voient le jour, dont la dernière en date est l'atelier sous-régional sur l'érosion côtière en Afrique Centrale qui s'est tenue le 6 octobre 2008 à Loango au Congo à 300 km de Brazzaville. D'après le Ministre Congolais de l'enseignement supérieur, Président de la Commission Nationale de l'UNESCO, Henri OSSEBI : «Les enjeux de cet atelier sont donc autant scientifiques que sociaux et culturels. Ils appellent un sursaut national et régional, préalable à des décisions politiques préventives, salutaires et énergétiques» (Gaboneco, 2008).

Cette réalité laisse alors apparaître au Gabon quatre types d'acteurs impliqués dans la lutte contre l'érosion côtière :

- Les pouvoirs publics,
- L'office des ports et rades du Gabon,
- Les sociétés privées dont l'exercice est concentré sur la côte,
- Les personnes physiques ayant aménagé leurs habitats en bordure du rivage maritime.

5.4.2- Acteurs en charge de la protection de la côte

a) Les pouvoirs publics

Le traitement de l'érosion marine s'intègre dans les missions régaliennes de l'Etat Gabonais, à ce titre il réalise les travaux d'assainissement et d'aménagement du territoire et le volet érosion en fait partie.

Le Ministère des Travaux Publics, des Infrastructures et de la Construction est attributaire de ce type de mission. Le cadre légal est défini par le décret N°001194/PR/MTPEC du 30 Juillet 1985.

L'organigramme se structure en deux grandes directions générales (fig.104):

- La Direction Générale de l'Equipeement et de la Construction,
- La Direction Générale des Etudes et de la Programmation,

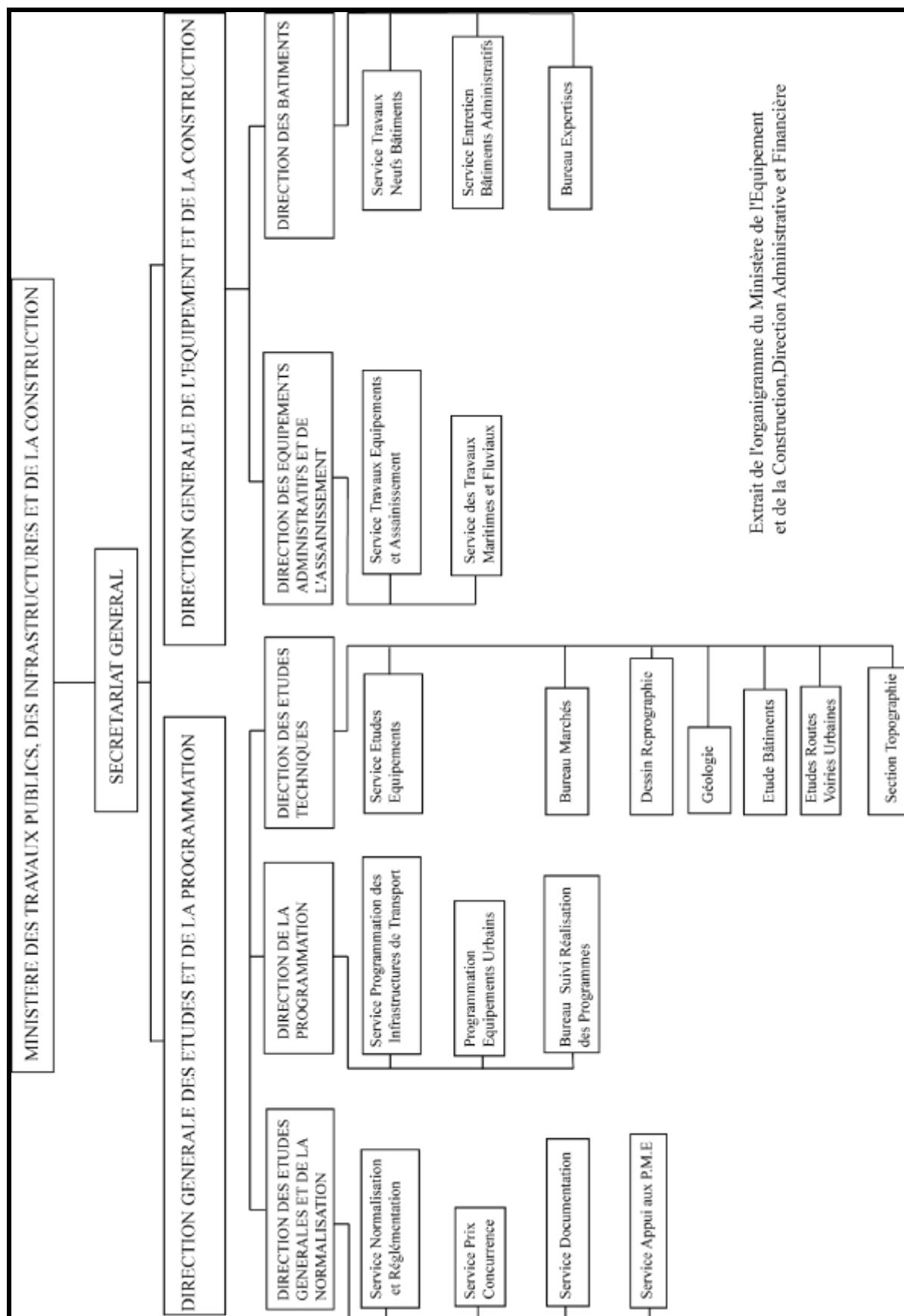


Figure 104 : Organigramme du Ministère de l'équipement en charge de la protection côtière

Les études d'ouvrages de protection côtière sont assurées par la Direction Générale des Etudes et de la Programmation (fig.104). Elle instruit l'étude et participe à la conception de l'œuvre.

Les études sont réalisées soit en régie directe par les ingénieurs et techniciens du Ministère en fonction des compétences dans le domaine maritime, ou par un cabinet privé spécialisé dans la réalisation de ce type d'ouvrage. La Direction Générale des Etudes et de la Programmation élabore prioritairement les termes de références, définit les aspects techniques du dossier et lance des appels d'offres. Elle a en charge le contrôle technique des études et leur conception.

Le suivi des travaux est assuré par la Direction Générale de l'Equipement et de la Construction via son département décentralisé des Equipements et de l'Assainissement. Ce département est chargé de la gestion du domaine public maritime et fluvial.

L'action de l'Etat reste donc orientée vers le contrôle du respect de la conformité technique des ouvrages de défense côtière.

b) Office des Ports et Rades du Gabon (O.P.R.A.G)

L'O.P.R.A.G. est l'organisme gestionnaire des infrastructures portuaires aménagées sur la côte. Du fait de la convergence de ses activités à l'interface mer/terre, l'office est amené de temps en temps à intervenir soit pour s'installer sur un site, soit pour le protéger des actions marines. Son action est limitée aux segments de côte qu'il exploite.

Il est à noter que l'OPRAG est membre de l'Association de Gestion des Ports de l'Afrique de l'Ouest et du Centre (AGPAOC), institution spécialisée dans l'organisation maritime en Afrique de l'ouest et du centre. Cette association fait de la lutte contre l'érosion côtière une priorité.

c) Les sociétés privées : l'exemple de TOTAL GABON

L'un des opérateurs économiques impliqué dans la lutte contre l'érosion côtière est TOTAL GABON. C'est la filiale Gabonaise du groupe TOTAL FINA, dont les installations (onshores et offshores) sont menacées par l'érosion côtière.

L'exemple de TOTAL GABON est abordé prioritairement dans le cadre de ce travail pour trois raisons simples. Pour la première, son champ d'opération contre l'érosion côtière concerne plus de 40 km de côte dont plus de $\frac{3}{4}$ de notre zone d'étude. La seconde est qu'elle a parrainé cette thèse par des nombreuses missions de terrain et la qualité des données mises à notre disposition. Enfin, par rapport aux autres actifs privés, TOTAL GABON est de loin celui dont la valeur des enjeux menacés par l'érosion est la plus importante.

La responsabilité de TOTAL GABON est d'autant plus aisément compréhensible que la société est propriétaire de l'unique terminal du pays (70% de la production du pétrole du Gabon y transite) et dispose diverses installations dans notre zone d'étude.

En termes de réalisation d'ouvrages de défense côtière, il est le premier et fait de la protection environnementale une de ces priorités. Cela va du suivi permanent du trait de côte (courbe +2 m) à la mesure de la bathymétrie des fonds proches de ces installations.

C'est ainsi qu'en plus des activités pétrolières proprement dites, la Division Sécurité Environnement et la Direction des Activités Pétrolière supervisent la réalisation des études, la construction des ouvrages et leur entretien.

d) Les particuliers

Plusieurs habitations construites en bordure de plage sont menacées par l'érosion côtière. Au quotidien, les propriétaires mènent un combat acharné contre l'avancé de la mer, soit en érigeant des barrières en béton ou des murs en pierre. Leur action est non moins négligeable car elle est coûteuse et demande un suivi régulier.

5.4.3- Les niveaux décisionnels de lutte contre l'érosion côtière

La lutte contre l'érosion côtière obéit à une approche décisionnelle dont l'Etat reste le seul décideur. Concrètement, cela se matérialise par lesancements des appels d'offres (international ou national) aux signatures de contrats avec les entreprises de BTP.

Les décisions sont motivées par un constat avéré de la présence d'un risque potentiel pesant sur les biens et les personnes.

On observe tout de même une certaine lenteur de la machine administrative à se mettre en place, car le processus transite par plusieurs étapes (fig.105).

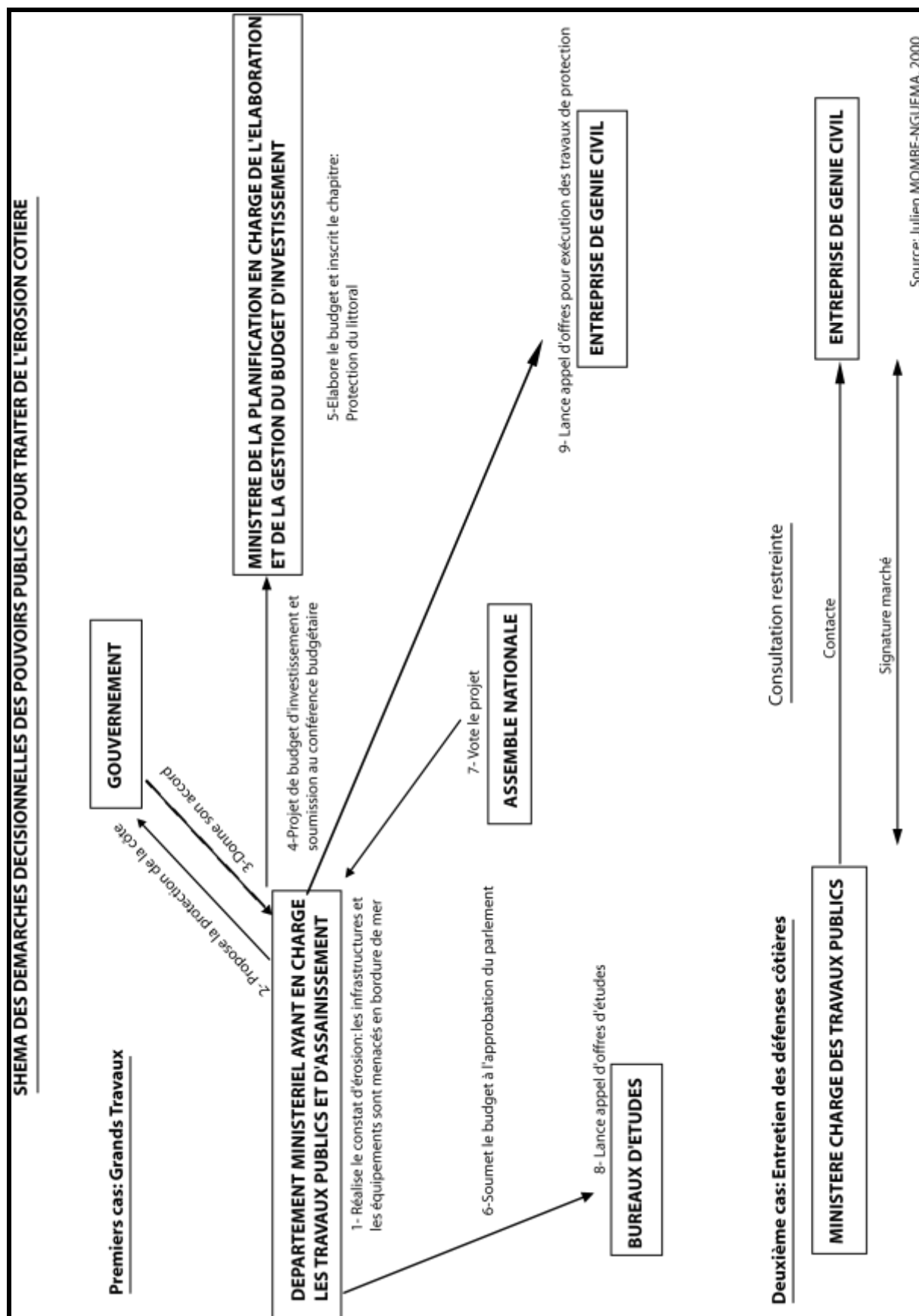


Figure 105 : Schéma des démarches décisionnelles de protection côtière

En fonction de l'urgence, des disponibilités budgétaires et des priorités gouvernementales, le Ministre en charge décide de réaliser les travaux de protection de la zone à risque. Il inscrit donc le projet dans la loi de finances examinée par le Parlement qui vote une ligne budgétaire.

Cependant, le caractère urgent du risque peut s'avérer caduque dans la mesure, où, habituellement, entre l'adoption du budget par le Parlement, sa mise en place et le début effectif de son exécution, il peut s'écouler sensiblement quatre à cinq mois (Mombé, 2000).

Le lancement d'appels d'offres est régi par le code des marchés publics. Il prévoit, par le décret n° 416/PR du 18 Mars 1985 la réglementation des marchés administratifs au nom de l'Etat gabonais, des collectivités, des offices et établissements publics. Il s'adresse généralement aux bureaux d'études.

La diffusion des appels d'offres est faite par la radio et par voie de presse dans le quotidien gabonais d'information « **L'UNION** » qui tient lieu de journal d'annonces officielles (Annexe C.

b) Ces appels d'offres sont adressés aux entreprises nationales et internationales.

Il convient tout de même de souligner que l'Etat n'intervient pas sur la totalité du linéaire côtier, son champ d'action reste urbain. A cet effet conformément aux textes en vigueur, les zones d'activités économiques privées, par exemple les ports ont leur propre stratégie indépendamment de la structure politico-administrative. La problématique de l'érosion côtière sur les sites d'activités est pour le cas des ports, traitée par l'Office des Ports et Rades du Gabon.

Nous pouvons dire sans en abuser que l'Etat gabonais, en matière de lutte contre l'érosion côtière ne fait pas de la prévention une priorité. Il adopte plutôt une stratégie « de laisser faire pour réagir après si c'est grave ».

Le texte de référence en matière de protection de l'environnement au Gabon est défini par la loi n°16/93 du 26 Août 1993 du code de l'environnement (Annexe C.c). Ce texte ne mentionne nulle part la prévention du risque lié à l'érosion du moins dans ces grandes lignes. Pour ce qui est du rivage marin, le code de l'environnement n'évoque que les généralités (réf. Article 8 en annexe). Il n'existe pas un cadre juridique défini de l'environnement à l'exemple de la « Loi Littorale » en France.

Parmi les promoteurs économiques exerçant sur le littoral, le cas de TOTAL GABON est une exception. Elle est la seule entreprise qui intègre dans sa politique de lutte contre l'érosion côtière, la prévention du risque. Un accent particulier est mis sur la surveillance régulière de l'évolution du littoral de l'embouchure de l'Ogooué jusqu'à la baie de Port-Gentil. Cela se matérialise par les levés réguliers de la bathymétrie et par la mesure de la dynamique du trait de côte (courbe +2m) tous les trois mois. Sur les zones touchées par l'érosion, des panneaux de signalisation sont dressés à

l'attention du public sur la dangerosité aussi bien des balades et des baignades sur les lieux à risque.

Dans certaines communes comme Port-Gentil, quelques actes de dissuasion interdisent l'extraction du sable de plages (cf. Annexe C.a.). Il s'agit des dispositions et décrets préfectoraux qui ne sont pas connus ou diffusés au grand public. La conséquence de cette impunité et le manque de sensibilisation constituent une entorse à la prévention contre l'érosion marine.

5.4.4-Les ouvrages de protection côtière

L'emplacement des ouvrages de protection côtière répond à une logique sectorielle. Seules les zones exposées à l'aléa et à fort potentiel économique sont protégées en priorité.

a) Le littoral de Port-Gentil

Le perré bétonné

Il est aménagé entre la digue et le rideau de palplanches qui protègent le parc à bois flottant de la Société Nationale des Bois du Gabon (SNBG) (photo 19). L'état de dégradation avancée de cet ouvrage montre son inefficacité et son inadaptation à l'énergie des eaux de la baie.



Photo 19 : Perré en béton détruit par les vagues sur le front de mer de Port-Gentil (Mombé, 2000)

Les palplanches

Ils couvrent plus 500 m de côte de part et d'autre du vieux port de Port-Gentil (Photo 20). Ils ont été mis en place vers la fin des années 1970 le long des boulevards du Commandant Bouët Villaumez et du Gouverneur Chavannes. Une partie a servi à la stabilisation de la plateforme du port commercial. Pendant plus d'une dizaine d'années elles ont joué pleinement leur fonction. Actuellement une grande partie du tronçon a subi le choc des vagues déferlantes et la corrosion de l'eau de mer se trouvant dans un état de déstructuration avancée.

L'état de dégradation actuel des ouvrages permet à la houle d'attaquer aisément l'arrière plage et voire à certains endroits la route.



Photo 20 : Rideau de palplanches sur le front de mer de Port-Gentil (Menie, 2007)

Digue en béton

Elle protège plus de 200 m de la côte du boulevard Gouverneur Chavannes (Photo 21). Cet ouvrage a fortement stabilisé la côte, mais depuis les dix dernières années, elle est franchie par les eaux lors des périodes de grandes tempêtes. Son efficacité dépend moins de sa hauteur et de sa structure que du bétonnage du « terre plein » qui le circonscrit.



Photo 21 : Digue en béton à Port-Gentil (Mombé, 2000)

Protections géotextiles

L'appellation courante est le « Boudin », elle se présente sous la forme de longs et gros sacs de toile de bidons chargés de sable.

L'érosion de plusieurs mètres de la côte au Nord de l'ancien port a été traitée par des boudins renforcés par des sacs remplis de sable (Photo 22). A ce niveau le recul de la côte menaçait la route qui mène vers la SNBG si aucune mesure n'avait été prise. Cet ouvrage a stabilisé la côte et on observe un début d'engraissement de la plage.



Photo 22 : Protection de la côte par des boudins





Enrochement et épis de dernière génération

La dernière génération des ouvrages sont les enrochements et les épis. L'intensité de l'érosion marine sur le segment côtier compris entre la plage du Dahu et l'ancien port a conduit au renforcement des ouvrages existants.

La Société Gabonaise de Raffinage (SOGARA) a érigé un mur en enrochement de 150 m le long de la plage afin de protéger la raffinerie des actions marines. Depuis là, la régression de la côte semble jugulée.

Des dispositions ont été prises face au démaigrissement de la plage située entre le mur en pierres et le port en eau profonde de l'OPRAG (fig.106). L'épi joue son rôle en interceptant le transit sédimentaire de direction NS. On enregistre ainsi une reprise de l'engraissement des plages.

L'inconvénient de ce type d'ouvrage est qu'il résout le problème en amont mais crée un autre souci en aval.

Type d'ouvrage	Localisation
	
	
	

Images: google earth, 2006

Figure 106 : Ouvrages de protection de la pointe Clairette

b) Le littoral du Cap Lopez

Les différents diagnostics sur l'érosion côtière ont débouché sur un traitement qui, loin d'être une solution finale compte tenu de l'instabilité avérée du trait de côte, s'est imposé par une combinaison de protections parallèles et transversales le long de la côte.

La figure 107 présente globalement les principaux ouvrages de protection côtière sans distinction entre les existants et ceux qui ont disparus (toute la génération des épis de 1957 à 1968 en fait partie).



Figure 107 : Ouvrages de protection côtière au Cap Lopez

Les brise-lames

Les brise-lames s'étendent sur une distance de 1 km de côte du Sud au Nord du phare du Cap Lopez. Ils constituent le dernier ouvrage de protection côtière érigé par TOTAL GABON.

D'après Mombé (2000), La disparition d'une partie de la protection géotextile de 1995 a ravivé l'érosion de la côte au Sud de la pointe du phare reculant ainsi le trait de côte de 5 à 6 m de la route qui s'est trouvée une fois de plus menacée. Cette situation amènera la société ELF GABON actuelle TOTAL GABON à lancer une consultation par l'intermédiaire d'ELF Aquitaine Production (EAP) afin de juguler efficacement le phénomène. Une étude faite par SOGREAH a révélé une tendance irréversible du recul de côte et propose la construction de brise-lames submergés et parallèles au rivage.

Les brise-lames constituent un rempart à l'attaque directe des houles, à la fois en cassant l'énergie des vagues et en provoquant des effets de diffraction à chaque extrémité ramenant ainsi les sables à l'abri de la structure.

La réalisation de cet ouvrage s'est faite en deux phases :

-1988 et 1999, elle couvre un segment de côte de 300 m situé au Sud du phare et a coûté 800 millions de francs CFA soit 1.2 millions d'euros.

- 2000 et 2001, l'ouvrage initial concernait trois segments de brise-lames, son extension englobant toute la pointe du phare est donc réalisée.

Si depuis 1999, les sections de côte protégées par les brise-lames présentent un bilan sédimentaire positif avec la formation de tombolos en arrière des cavaliers. Cependant, on observe une reprise de l'érosion dans la section non aménagée située entre le segment de 1999 et celui de 2000.

L'ouvrage est constitué de trois segments positionnés parallèlement au rivage, à 52 m de la laisse de haute mer, de longueur respective 70 m, 7,5 m de largeur et de 5 m de hauteur. Deux tronçons successifs sont espacés de 50 m (fig.108).

Le bilan de cet ouvrage est positif car on enregistre un engraissement de la plage matérialisé par la formation de tombolos derrière les brise-lames. Le seul bémol est que les espaces entre les tronçons subissent encore une érosion et que les murs en béton latérite installés pour palier à cette éventualité ne tiennent plus.



Figure 108 : Brise-lames au niveau de la pointe du phare :

Les murs en béton

On en dénombre deux situés de part et d'autre du phare. Au Sud du phare, le mur érigé a pour fonction de suppléer les brise-lames au niveau des espaces de 50 m séparant deux segments successifs. Depuis un peu plus de 2 ans, ce mur ne tient plus et est quasiment détruit. Lors de notre mission de recherche à TOTAL GABON, nous avons participé en tant que stagiaire au Service des Travaux et Projets de la Direction des Activités Pétrolière, à la réflexion de ce problème et au début du chantier de construction d'un mur en géotextile et à son renforcement (Photo 23).



Photo 23 : Le mur de protection en béton latérite au sud du phare

Les caractéristiques de ces boudins sont les suivantes :

- Hauteur : 1,20 m
- Longueur : 150 m
- Diamètre : 2,10 m
- Volume : 150 m³

Le choix des géotextiles n'est qu'un palliatif avant de trouver une solution durable, car ce type d'ouvrage a montré des limites sur ce secteur de côte (entre 1988 et 1999 une trentaine de boudins ont été déposés sans résultat attendu).

Au Nord du phare, exactement au niveau de la tête du canyon est érigé le second mur dit « Saout » (Photo 24), il protège cette portion de côte qui recule par érosion régressive.

Cet ouvrage commence déjà à montrer des failles et il est plus que nécessaire qu'une solution soit prise en prévision d'une reprise de l'érosion.



Photo: Z. MENIE (9 juin 2007)

Photo 24 : Le mur « SAOUT » au Nord du phare

Les épis en palplanches

La lutte contre l'érosion a amené la société ELF GABON à installer une série d'épis entre la pointe Renard et la pointe Odden. Ce travail a débuté vers les années 1958 par une première option d'épis en bois. Ils ont été remplacés entre 1964 et 1965 par des épis en palplanches. Actuellement, ne restent visibles que quatre épis qui eux aussi sont sur le point d'être engloutis par un ensablement des plages (Photo 25).

Le transit littoral de direction SE-NO, engendré par les houles de direction principale SW, a provoqué un engraissement considérable des plages. Ces épis trente ans après ont permis une progression vers le large de la ligne de côte de près de 350 m.



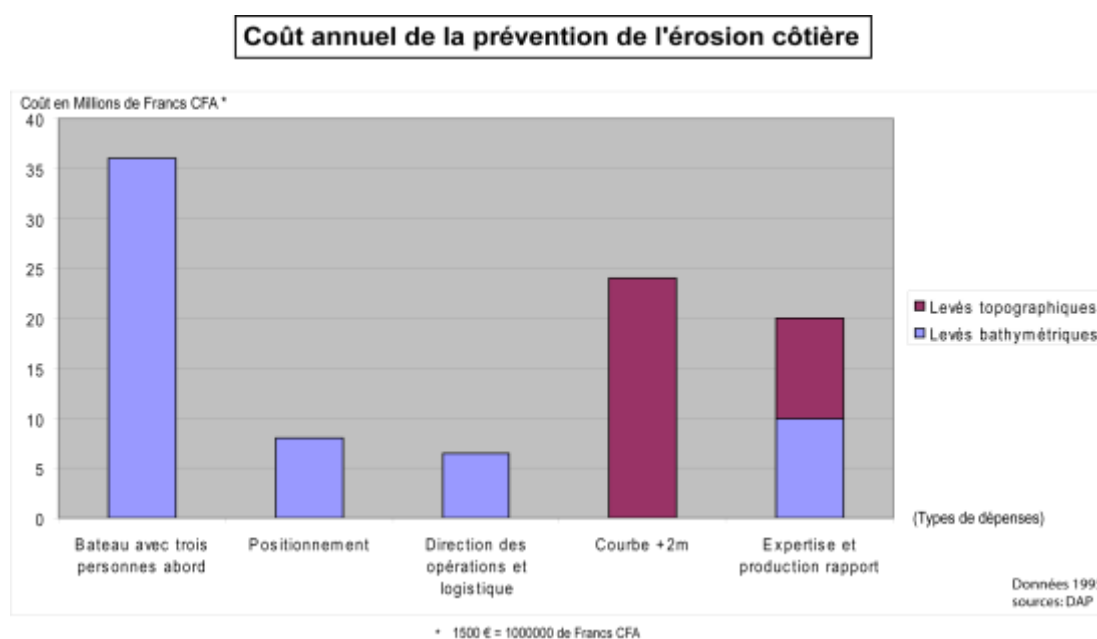
Photo: Z. MENIE (2007)

Photo 25 : Epis en palplanches secteur Nord – ouest Cap Lopez

5.4.5- Le coût de la protection côtière : estimation faite sur le secteur du Cap Lopez

Au Cap Lopez, le suivi de la dynamique du trait de côte a un coût (Graph 22). La surveillance de la courbe +2 m et les levés bathymétriques, reviennent à 100 millions de Francs CFA (Rapport Elf Gabon, 1995) soit 1,5 millions d'euros. Cette somme est répartie en fonction de l'urgence du moment et des moyens logistiques à mettre en œuvre. Ainsi, une mission de levés bathymétriques est estimée à 36 millions de Francs CFA (le positionnement à 8 millions de Francs CFA ; la direction des opérations et la logistique à 6,4 millions de Francs CFA ; les campagnes de levés topographiques de la courbe +2 m sont estimées à 7,2 millions de Francs CFA par mission ; sachant que les missions sont faites 4 fois par an, assorties de rapports d'études estimés 20 millions de Francs CFA par rapport produit).

Nous avons là, un exemple du coût de la politique de prévention contre l'érosion côtière à l'échelle d'un secteur géographique du littoral gabonais.



**Graphique 22 : Le coût de la prévention de l'érosion côtière au Cap Lopez
(Total Gabon, 2007)**

Cet exemple du coût de la prévention montre une fois de plus les impacts socio-économiques de l'érosion côtière. Il est évident que la valeur des traitements sur l'ensemble du littoral du Gabon se chiffrera à coût de plusieurs milliards de francs CFA.

5.4.6- Lacunes et limites de la stratégie de protection côtière

Les limites du traitement de l'érosion côtière se caractérisent par une absence de politique globale de traitement des risques côtiers. L'inexistence d'un cadre juridico-administratif justifie les

insuffisances et les limites de quelques initiatives isolées. Cela se matérialise par une anarchie des usages et des occupations de la franche côtière, par les choix non concertés et l'irrégularité de l'entretien des ouvrages de protections côtières existantes. A cela, s'ajoute une coopération régionale tâtonnante.

En se basant sur les données existantes, l'expérience vécue pendant cette thèse, nous sommes tentés sans prétention aucune d'affirmer qu'il n'existe pas au Gabon une politique cohérente de lutte contre l'érosion marine. Cette affirmation est fondée par le diagnostic suivant :

▪ **Un vide juridique en matière de gestion de l'environnement côtier.**

Certains pays développés sont bien en avance dans ce domaine et dans une certaine mesure constituent des références. Nous citons ici l'exemple français de la Loi Littorale²². Les objectifs de cette loi visent un développement durable de l'espace littoral. Les missions assignées concernent la protection des équilibres biologiques et écologiques, la lutte contre l'érosion, la préservation des sites et paysages et du patrimoine. Dans le contexte gabonais, le décret n°1194/PR/MTPEC²³ et la loi n°16/93²⁴ demeurent dans leur généralité. Par exemple, ne sont pas spécifiés, les champs d'application de la loi, les différentes rubriques liées d'une part à l'aménagement du territoire, à la protection des espaces côtiers et la place de la recherche scientifique (par exemple : inventaires du patrimoine écologique ou étude des risques littoraux).

▪ **Absence de stratégie d'ensemble de lutte contre l'érosion côtière.**

La lutte contre l'érosion côtière au Gabon n'est pas coordonnée ou parfois n'obéit à aucune législation. Les actions sont opérées individuellement au cas par cas, soit par les entreprises privées soumises à l'aléa sur leurs sites d'exploitation, soit par des particuliers qui protègent leurs biens en mettant les moyens dont ils disposent. La conséquence de ces actes isolés est la prolifération des ouvrages sur le littoral qui parfois ne jouent pas leur rôle.

Sur le plan sous régional, des initiatives ponctuelles commencent déjà à voir le jour dans une logique de lutte globale contre l'érosion côtière. La dernière en date est l'atelier des experts en charges des questions de protection côtière, tenue le 6 octobre 2008 à Loango au Congo sous l'égide de l'UNESCO. Ces initiatives encourageantes méritent un approfondissement et un suivi régulier afin d'aboutir à un organisme sous-régionale de lutte contre l'érosion côtière.

▪ **Manque de suivi et de concrétisation des projets de protection du littoral.**

²² La **Loi Littoral** est une [loi française](#) qui vise à encadrer l'aménagement de la côte pour la protéger des excès de la spéculation immobilière. Cette loi a été votée à l'unanimité par le [Parlement français](#) en 1986 et est entrée en vigueur le 3 janvier 1986^[1], date de sa parution au [Journal Officiel](#). La loi comporte un ensemble de mesures relatives à la protection et à l'aménagement du littoral et des plans d'eau intérieurs les plus importants

²³ Décret n° 1194 du 30 juillet 1985 portant attributions et organisation du ministère des travaux publics, de l'équipement et de la construction.

²⁴ Loi n° 16/93 relative à la protection et à l'amélioration de l'environnement

De nombreux projets initiés par l'Etat dans le cadre de la protection côtière n'ont jamais vu le jour. Ce laxisme est fondamental car lui seul définit un ordre de priorités dans l'action gouvernementale. Il s'avère que la défense côtière n'est pas la principale préoccupation des pouvoirs publics qui privilégient des interventions ponctuelles du traitement de la dégradation physique du littoral.

▪ **Chevauchement des compétences en matière de gestion de la protection côtière.**

On relève une certaine confusion de compétences entre les acteurs en charge du domaine côtier. Nonobstant les dispositions juridiques réglementaires notamment du décret n°001194/PR/MTPEC du 30 juillet 1995 responsabilisant le Ministère de l'Equipeement et de la Construction à traiter la protection des berges maritimes, il ressort que les mêmes attributions concernent deux autres Ministères :

- Le Ministère de l'environnement à travers la loi n°16/93 du 26 Août 1993 relative à la gestion de l'environnement. Le code de l'environnement en son article 7 précise bien que la gestion du milieu littoral est de son ressort.

- Ministère de la Marine Marchande et de la Pêche se voit aussi attribuer la mission de gestion du littoral par le décret n° 1807 du 13 Novembre 1985.

Le chevauchement des compétences constitue une entrave à l'instruction des projets en lien avec à l'érosion côtière et à la prise de décisions adéquates visant à résorber le phénomène.

▪ **Implantation non réfléchie et inadéquation entre les choix des ouvrages, leur fonction, l'absence d'entretien de l'existant.**

L'absence d'étude préalable avant l'implantation des ouvrages sur un segment de côte, le manque de moyens financiers suffisants poussent les responsables en charges de la question à opter pour des solutions moins coûteuses.

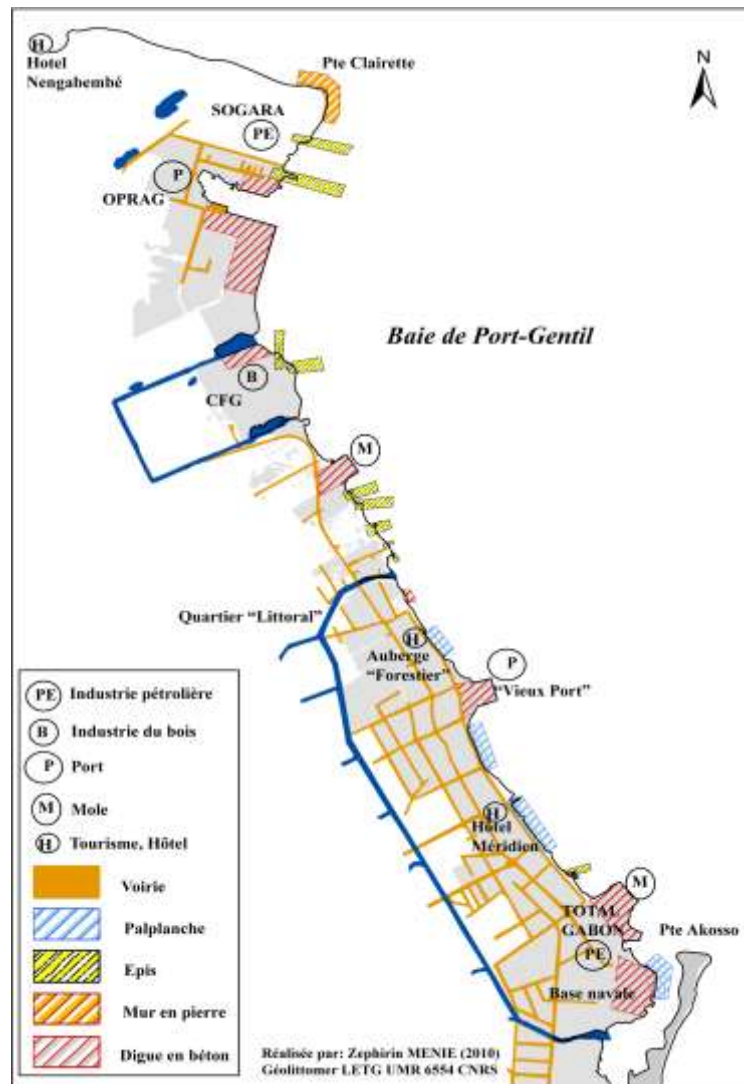


Figure 109 : Disposition des ouvrages de protection côtière sur le littoral de Port-Gentil

Le résultat explique les différents dysfonctionnements des plages et l'amplification du phénomène sur le littoral de Port-Gentil (fig.110). En plus, on constate un entretien irrégulier des ouvrages de défense côtière une fois installés.

5.4.7-Actions envisageables sur le long terme

Face à l'érosion côtière, une stratégie se doit d'être mise en place. La réponse la plus évidente est de laisser faire la nature. Cela consiste à accepter un certain recul du trait de côte et le cas échéant à l'abandon ou à la délocalisation des installations menacées.

Compte tenu des impératifs économiques liés à l'exploitation des installations de Total Gabon et de la situation déjà critique de certaines zones, en particulier la route au niveau du phare, une telle proposition est d'emblée écartée.

Il faut donc envisager des mesures à même de contenir, voire stopper cette érosion et assurer ainsi la pérennité des installations de Total Gabon.

Cette section a pour objectif de proposer à Total Gabon une politique d'actions à mener pour répondre aux problèmes posés par l'érosion du Cap Lopez. Nous présentons ici la réflexion de 6 mois de recherche de solutions, entreprise dans le cadre de notre mission de terrain à Port-Gentil. Le coût des ouvrages proposés ci-après s'appuie sur les travaux similaires faits dans le passé par la Société et sur les investissements déjà réalisés qui se chiffrent environ à 30-40 M USD (non actualisé, hors études, hors campagnes géotechniques), le tout ramené à la valeur réelle des installations du terminal du Cap Lopez.

Une option de stockage et de chargement par bouée est concevable, mais son coût (minimum de 10 M USD) et les contraintes liées font d'elle une solution non envisageable.

Les propositions ainsi faites exigent au préalable des mesures et des études complémentaires à réaliser avant l'application d'une politique de travaux à court et moyen terme.

a) Mesures et études complémentaires

- Surveillance de la côte et des fonds proches de la ligne bathymétrique 0 m

Il faut impérativement poursuivre le travail de suivi du trait de côte et de la bathymétrie, mis en place dès 1974. Ce suivi a permis de suivre les grandes tendances et le cas échéant, de prévenir Total Gabon des situations à risques (glissements Pointe Odden en particulier).

Au fil des années, la régularité du suivi a été modifiée pour diverses raisons, mais aujourd'hui avec une cinquantaine d'années d'expérience, les services centraux en charge de ce suivi ont mis en place un planning des campagnes qui semble désormais optimal : Une bathymétrie annuelle en début d'année (janvier) accompagnée de deux levées du trait de côte en début et milieu d'année (janvier et juillet) sont réalisées. Cette surveillance s'accompagne également de la mesure de la bathymétrie après des événements particuliers, tels que les glissements de la pointe Odden ou du quai des Chalands.

- Campagne hydro-sédimentaire

Dans les années 80, suite au glissement de juillet 1971, plusieurs études ont été lancées. Une simulation numérique ou en bassin avait alors été envisagée, mais elle n'a jamais été réalisée compte tenu des difficultés techniques et de l'insuffisance des moyens informatiques.

Aujourd'hui, l'expertise des mécanismes en œuvre ayant atteint ses limites et suite à l'évolution des outils informatiques (Géomatique), il est grand temps de faire une simulation des conditions de forçage en jeu. Cette simulation numérique a pour but d'affiner la compréhension des mécanismes hydro-sédimentaires, de quantifier les différentes interactions entre la houle, les

courants, les fonds marins. Elle doit permettre à TOTAL GABON de valider les actions futures qui sont proposées dans le cadre de cette étude.

A cet effet, Il faut des données précises de houles et de courants marins dont on ne dispose pas actuellement.

Il est nécessaire de réaliser une campagne de mesure des facteurs météo-marins sur une durée d'un an au minimum afin d'intégrer les variations saisonnières.

Les points précis de ces mesures (houles et courants) seront à préciser en accord avec les propositions de Latteux (2007) consultant en ingénierie portuaire et côtière, dans son rapport d'étude de Mai 2007 « *Problèmes liés à la dynamique sédimentaire au Cap Lopez (Gabon) – Synthèse des conditions naturelles et diagnostic sommaire* », étude commandée par TOTAL GABON.

Ces mesures doivent être réalisées dans les zones suivantes :

- Au large, sur Girelle GIM et/ou Anguille GAAM (profondeur d'eau, position par rapport au Cap Lopez, possibilité de surveillance de l'instrumentation), ce qui permettra d'obtenir les conditions générales de forçage auxquelles, est soumis le Cap Lopez,
- Dans les fonds proches de la pointe du phare, le premier point de mesure doit se situer au Sud du canyon, en dehors de la zone de réfraction des houles et le second au Nord immédiat du canyon pour valider l'effet de cette singularité sur la houle, les courants et le transport des sédiments. Le dernier pris l'Est de la pointe Odden pour valider la réfraction/diffraction de la houle autour du Cap Lopez.

Le volume brut du transit sédimentaire estimé entre 300 000 et 500 000 m³/an n'est pas représentatif de la réalité. Ces valeurs ont été estimées à partir de formules empiriques de Larras. Ainsi des données divergent en fonction des auteurs :

- Bourgoin (1963) estime un transit compris entre 300 à 400 000 m³/an,
- Water-bouwkundig Laboratium DELFT (1972) évalue un transit sédimentaire de 500 000 m³/an à partir des mesures de houle effectuées par SOGREAH en 1959,
- HYDRONAMIC (1983) annonce la valeur de 200 000 m³/an sur la base des statistiques de l'US Navy,
- La donnée utilisée dans divers rapports est de 300 000 m³/an.

Face à cette pléthore de valeurs, il est nécessaire de faire une campagne in situ du budget sédimentaire.

Les spécifications techniques devraient être définies par les services centraux et contiendraient en principe la totalité des informations techniques nécessaires aux entreprises et laboratoires consultés, tels que : IOTA, FUGRO, SOGREAH, NGI.

- Pérennisation des archives en lien avec la dynamique de la côte du cap Lopez

Pour que ces spécifications techniques contiennent la totalité des informations nécessaires à la compréhension des phénomènes, le travail de synthèse des archives doit être poursuivi.

Les actions à mettre en œuvre sont donc les suivantes :

- Réorganisation et indexation des archives de la base de données de Port-Gentil,
- Numérisation des documents relatifs à l'érosion du Cap Lopez (études, levées du trait de côte, bathymétries, photographies),
- Centralisation des données disponibles à Pau et à Port-Gentil.

Comme constaté dans les sections précédentes, la situation du Cap Lopez reste critique sur certaines zones, malgré les interventions de Total Gabon. Suite à l'étude qui sera menée (simulation et propositions), il conviendra d'entreprendre une campagne de travaux, qui permettra de contenir la situation à long terme.

Compte tenu des délais inhérents, et considérant que des travaux ne seront pas démarrés avant trois ans, des actions à court terme sont néanmoins nécessaires pour préserver les zones menacées.

Le court terme concerne les actions à faire de suite sur les zones directement menacées par l'érosion et par conséquent sont à entreprendre dans les 12 à 24 mois à venir. Ces actions devront avoir une durée de vie d'au moins cinq ans pour permettre la mise en place des actions à long terme.

Le long terme concerne les actions dont la mise en œuvre nécessite du temps mais dont la durée de vie, plus importante, devra être définie avec précision avant toute étude.

b) Actions à court terme

-La pointe du phare

Il faut poser un brise-lame entre les segments de 1999 et de 2000 (fig.110). La zone comprise entre les deux ouvrages est sérieusement fragilisée par une reprise de l'érosion. L'espace entre ces ouvrages est large, favorisant ainsi l'intrusion des houles de direction SW et W.

A l'Ouest du Cap Lopez, l'expérience a montré à suffisance l'efficacité des brise-lames et des épis. Dans une stratégie de stabilisation de la côte, il est nécessaire de coupler les deux types d'ouvrages.



Figure 110 : Actions envisageable pour la formation des tombolos à l'arrière des brise-lames

L'action des houles et des courants pendant la saison sèche conduit à la disparition des tombolos formés à l'ombre des brise-lames 6 et 7 (fig.110). Pour maintenir les tombolos, la mise en place de géotextile est à envisager, fin février 2011 au plus tard.

D'après Guillot (2007) La solution la plus simple est de réaliser la tranche de brise-lames initialement prévu mais qui n'a jamais été posée. Cela revient à poser entre 32 à 46 éléments pour un coût estimé à environ 1300 KUSD (sur la base de la proposition de COTRA Gabon pour 32 éléments (cotation 2004) de 1000 kUSD majoré de 30 %).

La pointe Odden-Quai des Chalands

Le seul moyen d'éviter de nouveaux glissements à la pointe Odden et au quai des Chalands est le dragage régulier des pentes.

Dans une optique de traitement régulier, les protections en géotextiles sont d'un intérêt tout particulier en matière d'actions ponctuelles et provisoires. La technique de mise en place est maintenant bien maîtrisée, et a déjà permis de préserver ce segment de côte à plusieurs reprises.

Suite à l'effondrement du quai des Chalands en Mars 2007, il convient de réparer l'ouverture à la mer du bassin de décantation des hydrocarbures. Pour se faire, le dimensionnement d'un nouveau mur de palplanches est en cours de confection.

Au niveau de la crique des éléphants (fig.111) on assiste à un recul du trait de côte. L'ampleur du phénomène est telle qu'une solution palliative est à prendre le plus rapidement possible.

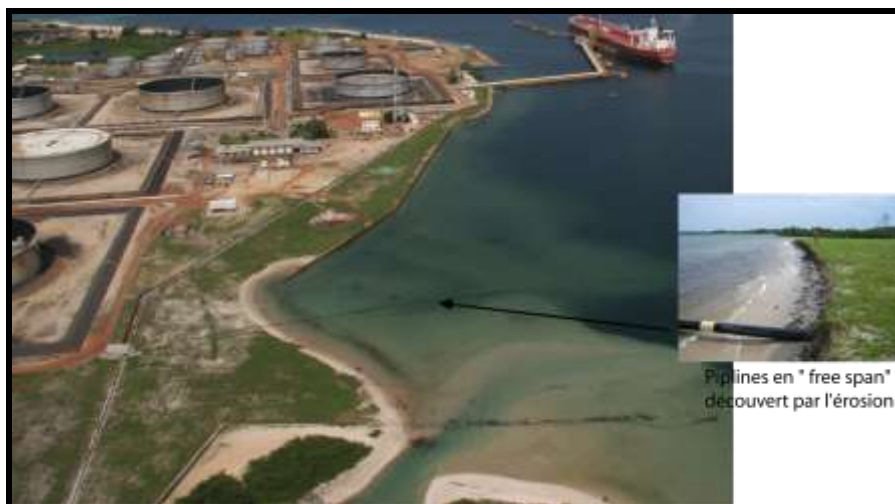


Figure 111 : Situation des pipelines au niveau de la crique d'éléphant (Total Gabon, 2007)

Pour arrêter cette érosion, l'implantation d'un épi en palplanche, le long de la clôture, a été proposée en Février 2006 par COTRA (fig.112)

Un premier problème concerne l'affouillement en pied du futur mur de palplanches dû à la présence du cours d'eau. Il faut aménager les berges de la crique « des éléphants » dans le but premier de rétablir le cours d'eau dans son tracé naturel.

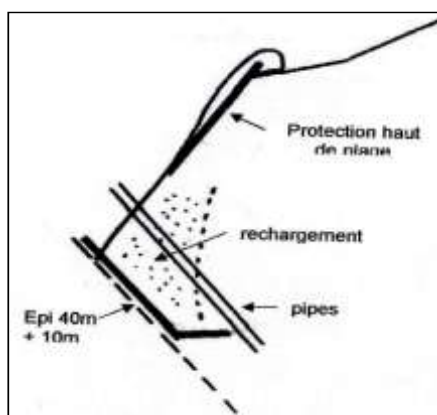


Figure 112 : Schéma de l'ouvrage proposé par COTRA GABON (Total Gabon, 2006)

c) Actions à mener sur le long terme

Les actions envisageables sont étroitement liées avec les résultats attendus des modèles numériques qui découleront des mesures récentes. Dans l'hypothèse de la confirmation des données actuelles mises à notre disposition, les propositions suivantes sont faites et seront validées au cas par cas.

Les solutions retenues pour la protection des installations à long terme doivent avoir pour objectif de limiter l'apport de sédiments à la pointe Odden (éviter la surcharge). Dans cette perspective, et compte tenu des cycles d'évolution des systèmes sédimentaires du Cap Lopez, il

semble qu'en agissant sur la côte Ouest, cela enclenchera une reprise rapide de la croissance normale la flèche facilitée par des fonds peux importants du banc du Loiret. Ceci permettrait de déplacer la sédimentation vers l'Ouest et mettrait à l'abri la pointe Odden des houles SW. La sédimentation attendue constituera ainsi une nouvelle amorce d'un nouveau cordon sableux.

- Pointe Odden-Quai des Chalands

Une campagne de dragage est à programmer dans un avenir proche. Elle concerne particulièrement le littoral situé entre la pointe Odden et le quai des Chalands. Constatant la rapidité qu'ont les plages à se reconstituer et compte tenu du volume de sédiments se déposant dans cette zone, (après le glissement de 1971, les 3 millions de m³ disparus ont été remplacés en 8 ans), l'option de dragage n'est pas économiquement viable à long terme (au moins pour la pointe Odden), mais s'avère utile ponctuellement afin d'éviter un glissement qui risque d'endommager les installations de Total Gabon, plus particulièrement au niveau du quai des Chalands.

-A l'échelle de la cellule hydro-sédimentaire du Cap Lopez

Des actions de grandes portées sont envisageables dans le cas présent, mais celles-ci nécessitent des moyens financiers et technologiques conséquents. A cet effet, nous proposons des mesures qui s'intègrent à la cellule hydro-sédimentaire dans sa globalité :

- La mise en place d'une barre artificielle ou de brise-lames (émergeants ou semi submersibles) à une centaine de mètres au large du phare permettra la formation des tombolos à l'ombre de l'ouvrage. Les matériaux envisageables sont des épaves ou structures en béton.
- L'obstruction de la tête du canyon par une barre de déferlement permet de créer une zone d'accalmie favorable à son engraissement. Les matériaux envisageables sont : les épaves, une structure en béton ou un ouvrage en géotextile.
- La construction des épis à la pointe Renard permettrait de favoriser l'engraissement de ce segment de côte comme par le passé (épis de 1958). Une option de barre sous-marine est à envisager. Les matériaux à utiliser sont : les épaves, les palplanches ou les épis en bois.

Une combinaison de ces propositions est représentée par le schéma ci-dessous (fig.113):

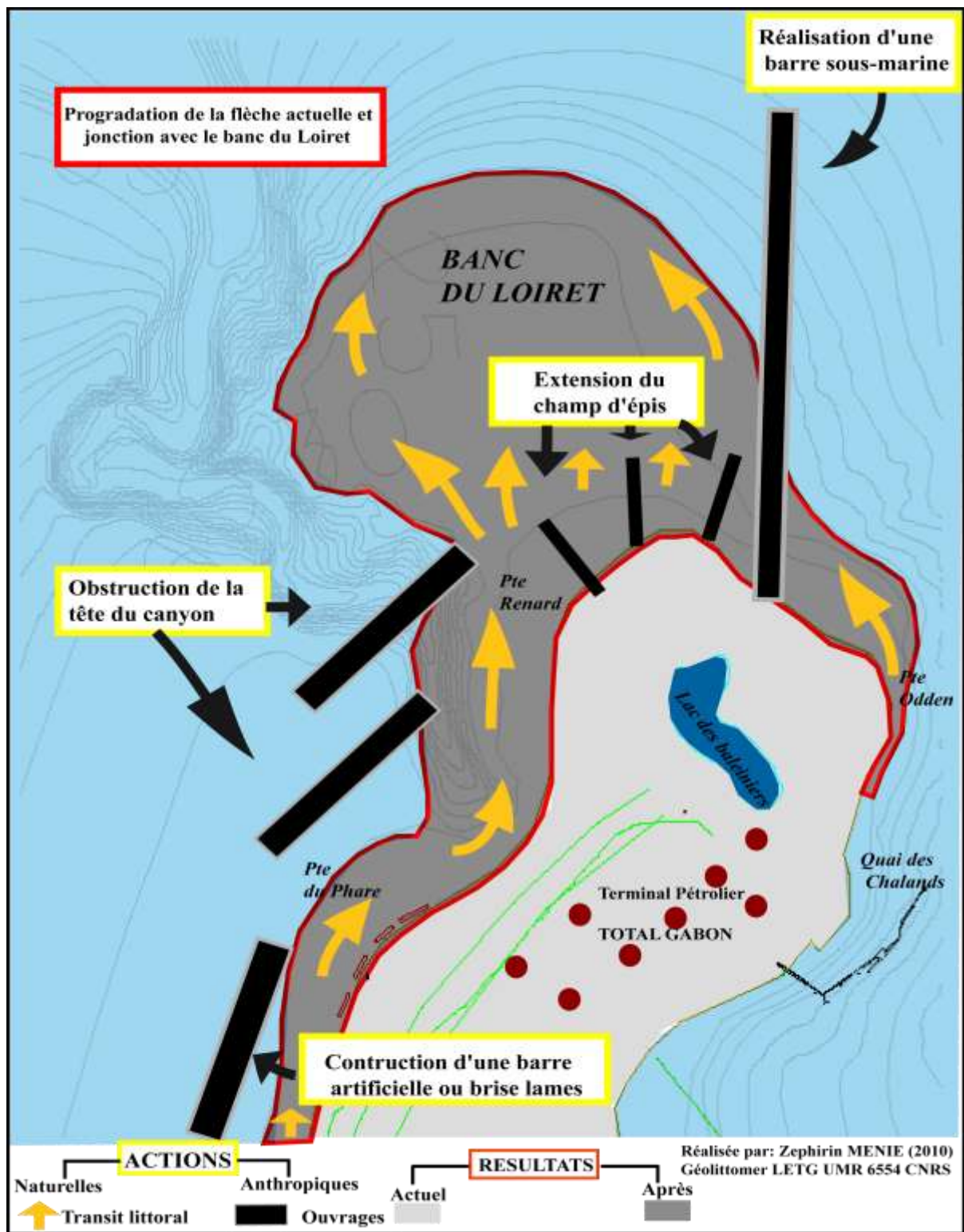


Figure 113 : Schéma d'ensemble des solutions sur le long terme

-Le littoral Ouest

Une variante de la solution de drainage proposée en 1997 par SOGREAH est à envisager. En effet, le principe de drainage consistant à la pose de drains sur la plage pour « l'assécher » et ainsi augmenter sa sédimentation pourrait être obtenue par la végétalisation massive de la dune

séparant la route et la plage. Cette action fixera les sables transportés par le vent et facilitera la sédimentation et la stabilisation de la plage.

La mise en place d'un tel dispositif ne nécessite pas la mobilisation des dépenses colossales, bien au contraire contribuera à la fixation des sédiments en haut et arrière des plages sans pour autant modifier leur fonctionnement normal et ce, à moindre coût. Ce type d'initiative peut être associé à des programmes de réhabilitation des milieux naturels intégrant les universités ou des écoles agronomiques locales (ex : l'école des cadres ruraux d'Oyem, ou l'école polytechnique de Masuku).

L'impact visuel comparable à celui d'un brise-lame est plus acceptable. La plage conserve son aspect originel. Pour les raisons d'ordre esthétique et écologique de l'écosystème, la végétalisation du rivage constitue une méthode douce et pratique pour une dénaturalisation faible du rivage.

Toutefois, cette option ne peut être la seule solution efficace à notre problème, et devra être accompagnée de travaux visant à limiter l'impact des actions marines.

En somme, l'ensemble des propositions énoncées n'est pas limitatif. Des études complémentaires méritent d'être faites.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif principal de ce travail était de quantifier, puis de comprendre les interactions complexes qui régissent la morphodynamique de la flèche sableuse Mandji et d'analyser les risques naturels côtiers induits. Si la majorité des programmes de recherches scientifiques sont concentrées sur l'érosion et son impact sur la côte, nos travaux de thèse ont plutôt cherché à établir le lien entre les dynamiques passées et l'évolution actuelle de la flèche à différentes échelles spatiales et temporelles.

Les récents progrès des outils et des techniques de modélisations numériques, organisés autour d'un SIG ont permis d'atteindre nos objectifs. Les résultats de cette recherche nous permettent de tirer les enseignements suivants :

Rôle des variations eustatiques dans la morphogénèse de la flèche sableuse Mandji...

L'analyse des données historiques a permis de déterminer les différentes étapes marquant la formation de la flèche actuelle à l'embouchure microtidale du fleuve *Ogooué*. Le rôle des transgressions et régressions de l'océan Atlantique a été mis en évidence. Cette évolution à long terme a été marquée par une morphogénèse en 5 étapes correspondant aux différentes pointes observées le long de la baie de Port-Gentil. La flèche Mandji est une des conséquences de la régression Taffolienne (3000 BP). Les agents responsables de cette évolution restent à comprendre.

Les forçages naturels et anthropiques impliqués dans la morphodynamique de la flèche...

L'évolution de la flèche sableuse est fortement influencée par la variabilité saisonnière des conditions hydrodynamiques (houles, marée, courants marins, dérive littoral, débits de l'*Ogooué*) et par la diversité des actions anthropiques sur le linéaire côtier (ports, digues, tourisme, ouvrages de protection côtière). L'évolution actuelle du trait de côte est tributaire des ces deux facteurs qui méritent un approfondissement de la compréhension de leurs modes de fonctionnement.

La mobilité du trait de côte comme indicateur de l'évolution à court terme de Mandji...

La quantification de la cinématique du trait de côte à différentes échelles spatiales et temporelles témoigne d'une évolution en trois dimensions : verticale (-z, 0, +z) et horizontale (x, 0, y).

On observe une variabilité interannuelle et sectorielle du phénomène. Le rivage du Cap Lopez et la façade Ouest de la flèche sableuse constituent les points « chauds » où l'on enregistre les vitesses de recul du trait de côte jamais connu nulle part ailleurs sur ce littoral. Le front de mer de la ville de Port-Gentil connaît une relative stabilité avec une tendance à l'extension du rivage.

Un espace littoral en mutation perpétuelle...

Les changements interannuels ou saisonniers caractérisent l'occupation du sol de la flèche littorale. Ces mutations sont liées à l'environnement naturel et aux installations humaines. Tout cet ensemble contribue au même titre que les agents météo-marins à l'évolution du paysage côtier soit par les processus de « transition des écosystèmes » en ce qui concerne les espaces naturels, soit par l'emprise spatiale des activités anthropiques sur le milieu physique.

Les installations humaines menacées par l'érosion côtière, que faire ?...

L'érosion constitue une menace réelle pour les espaces à forts enjeux socioéconomiques. L'industrie pétrolière en paye le prix fort chiffré à coût de milliards de Francs CFA. Cette investissement ne répond pas à une logique concertée ou globale mais à une réaction individuelle inhérente à l'exploitation de ces espaces côtiers. Il n'existe pas de stratégie d'ensemble pour lutter contre ce risque car la mission régaliennne de l'Etat gabonais est inexistante ou hésitante.

Que proposons-nous ?...

Dans ce contexte d'intensification de l'érosion sur l'ensemble des côtes gabonaises, ajouté à l'élévation actuelle du niveau de la mer (GIEC, 2007), nous proposons la mise en place d'un Plan de Prévention et de Traitement de l'Érosion (P.P.T.R.).

Cette stratégie répond à une logique d'actions sur le long terme et reste dans un esprit d'intégration régionale étendue à l'ensemble des pays du Golfe de Guinée. L'efficacité d'une telle mesure nécessite une définition préalable des rôles des différents acteurs : scientifiques, populations, élus et décideurs.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abe J., Affian K. (1993) – The Ivoirien coastal zone : Morphology and sedimentary processes examples from Grand-Lahou and Abidjan. *Coastline of western Africa*, p. 184-195.
- Abessolo Mezui P. (1986) – *Mise en valeur de l'Ogooué et structuration spatiale de son bassin*. Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle de Géographie. Université d'Aix-Marseille II, 219 p.
- Allen J.R. (2000a) – Holocene coastal lowlands in NW Europe: autocompaction and the uncertain ground, in: Pye K Allen J.R., *coastal and estuarine environments: sedimentology, geomorphology and Geoarchaeology*, geological Society, London, 175, 239-252
- Allen J.R. (2000a) – Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from Atlantic and southern North Sea coasts of Europe, *Quaternary Science Reviews*, 19, 1155-1231.
- Anthony E (1990) – Environnement, géomorphologie et dynamique sédimentaire des côtes alluviales de la Sierra Léone, Afrique de l'Ouest. In : *Revue de géographie du laboratoire d'analyse spatiale Raoul Blanchard*, 27-28, 189 p.
- Aoutin J. (1967) - Les pollens et les spores des sédiments du delta de l'Ogooué. Montpellier, Lab. de Palynologie, *Mémoire EPHE*, 160 p.
- Avaro A. (1981) – Un peuple gabonais à l'aube de la colonisation: le bas-Ogooué au XIX^{ème}. Paris, Edition Karthala.
- Bassoullet P. (1979) – *Etude de la dynamique des sédiments en suspension dans l'estuaire de l'Aulne* (Rade de Brest), Thèse de 3^{ème} cycle en Géographie, Université de Bretagne occidentale, Brest, 136 p.
- Bernardie N., Taglioni F. (2005) – Les dynamiques contemporaines des petits espaces insulaires. De l'île relais aux réseaux insulaires. Ed. Karthala, Paris, 443 p.
- Boillot G. (1989) – Géologie des marges continentales. 3^{ème} édition, Masson, Paris, 135 p.
- Cahiers Nantais (1998)- Connaissance de l'érosion. Institut de Géographie et d'Aménagement Régional, Université de Nantes, n° 49, 214 p.
- Davoult D. (2006) – Fonctionnement des écosystèmes intertidaux en milieu tempéré. Sémi. Institut Océanographique, Paris, 260 p.
- Mémorial du Gabon (1983) - Les chemins de l'Indépendance de 1960-1964. Tome 1, Nkoussou Productions, 349 p.
- Berthois L., Lafon F (1968) Contribution à l'étude des conditions de sédimentation dans la rade de Brest. Chapitre 1. Minéralogie et granulométrie sédimentaire, *Cahiers Océanographiques*, 10, 893-920.
- Berthois L., Lafon F (1969) Contribution à l'étude des conditions de sédimentation dans la rade de Brest. Chapitre 2. Dynamique des dépôts littoraux, *Cahiers Océanographiques*, 10, 893-920.

Berthois L., Lafon F (1970a) Contribution à l'étude des conditions de sédimentation dans la rade de Brest. Chapitre 3. Hydrologie et courantométrie, *Cahiers Océanographiques*, 10,893-920.

Berthois L., Lafon F (1970b) Contribution à l'étude des conditions de sédimentation dans la rade de Brest. Chapitre 4. Etude analytique des apports fluviaux en rade de Brest, *Cahiers Océanographiques*, 10,893-920.

Béguin M., Pumain D. (2000) – La représentation des données géographiques, statistiques et cartographie, Ed. Armand Colin, Paris, 192 p

Binanga J.M. (1989) – Aménagements portuaires et préservation du littoral de Libreville. *Mémoire de fin d'études politiques au CUSPOD*, 60 p.

Blivi A. (1993) – *Géomorphologie et dynamique actuelle du littoral du golfe du Bénin (Afrique de l'Ouest)*. Thèse de Doctorat de Géographie Physique, Université de Bordeaux III, 453 p.

Blivi A. (1995) – Le delta de la Volta de l'Holocène à l'actuel. In : *Annales de l'université du Bénin*, série lettres, Tome XV.

Blivi A., Rossi E. (1995) – Les conséquences des aménagements hydrauliques de la vallée du Mono (Togo-Bénin), s'aura-t-on géré l'avenir ? in : *Cahiers d'Outre-mer* 48, 192.

Bonn F., Rochon G. (1992) – Précis de Télédétection. Tome 1 : Principes et méthodes, PUQ/AUPLF, 477 p.

Bonn F., Rochon G. (1996) – Précis de Télédétection. Tome 2 : Applications thématiques, PUQ/AUPLF, 632 p.

Bonifay D. (1987) - *Interaction des accumulations terrigènes et Océanographiques dans le quaternaire moyen et supérieur des marges profondes du Gabon et de la ride médio guinéenne*. Thèse de doctorat de l'université de Perpignan, mention océanologie sous la direction de Giresse P.

Brabant M. (2000) – *Maîtriser la topographie : des observations au plan*, Eyrolles, Paris, 544 p.

Buchanan J.Y. - On the slopes separating continents ocean bassins, especially those canyons and deep-sea fans modern and ancient. JM. Mc. D. Whitaker ed. DHR Inc. Benchmark papers in geology. Vol ; 24, p.16-19.

Cailleux A., Tricart J. (1959) – Initiation à l'étude des sables et des galets. Manuel de sédimentologie, Tome 1, 194 p.

Carter R.W.G. (1986) – The morphodynamics of beach-ridge formation: Margilligan, Northern Ireland Marine Géology, p. 191-214.

Cariolet J.M., Suanez S. (sous presse) – Approche méthodologique pour une cartographie du risque de submersion des côtes basses, *La Houille blanche*.

Carter R.W.G., Orford J.D. (1987b) – Gravel barriers, headlands and lagoons: an evolutionary model, in: *Coastal Sediments' 87*, Ed. American Society of civil Engineers Speciality, Conference, New Orleans, 2, 1776-1792.

Carter R.W.G., Hesp P.A., Nordston K.F. (1990) – Erosional landforms, *in: Coastal dunes, form and process*, John Wiley, 221-242.

Cauvin C., Escobar F., Serradj A. (2007) – Cartographie thématique 1, une nouvelle démarche. Hermes, Lavoisier, 284 p.

Chauris L (1996) – Dépôts anthropiques en rade de Brest, les déblais des carrières de Kersantite, *Penn ar Bed*, 163, 13-21.

Chauris L (1999) – Transformations anthropiques du littoral breton : les extractions pluriséculaires de la pierre en bordure de mer, in : La fabrication du paysage, Ed. *Géoarchitecture*, 221-259.

Clist B. (1991) – Aux origines de l'Afrique Centrale. Pub. Centre culturel français de Libreville, Centre International des Civilisations Bantu (Libreville Gabon), 270 p.

Coque R. (1977) – Géomorphologie des littoraux. In : *Géomorphologie*, Armand Colin, Paris, p. 265-271.

Coque R. (1979) – Vocabulaire de géomorphologie. Ed. Hachette, Paris, 218 p.

Corlay J.P. (2000) – Atlas permanent de la mer et du littoral n°5 - Littoral français. CNRS-Géolittomer-LETG UMR 6554 / Infomer

Cuq F. (1984) Exemple de cartographie des phénomènes littoraux. In : L'espace Géographique, n°3, p. 265-271.

Devillers R., Jeansoulin R. (2005) – Qualité de l'information géographique. Hermès, Lavoisier, 349 p.

Direction Générale de l'Environnement (2005) – Communication Nationale sur les Changements Climatiques. Ministère de l'Économie Forestière, des Eaux, de la Pêche, Chargé de l'Environnement et de la Protection de la Nature (GABON), PNUD XP 4, 144 p.

Djeki J. (1985) – Évolution récente de Port-Gentil. Thèse de Doctorat de 3^{ème} Cycle de Géographie, Université Paul-Valéry de Montpellier III, 766 p.

Douglas C., Crowell M. (2000) – Long-term shoreline position prediction and error propagation, *journal of Coastal Research*, 16,1, 145-152.

Durand P. (2000) – Approche méthodologique pour l'analyse de l'évolution des littoraux sableux par photo-interprétation, Exemple des plages situées entre les embouchures de l'Aube et d'Hérault (Languedoc, France), *Photo-interprétation*, 18, 1-2, 3-18.

Durant P., Hortefeux H. (2000) – Impact de l'élévation du niveau marin sur l'évolution future d'un cordon littoral lagunaire : une méthode d'évaluation, exemple des étangs de Vic et de Pierre Blanche (littoral méditerranéen, France), *Zeitschrift für Géomorphologie*, 50, 2, 221-244.

Flament J., Miossec A., Regrain R., Flament E.-*Les littoraux en France : risques et aménagement. Du risque naturel à l'aménagement. De l'aménagement au risque.* APHG Picardie, 96p.

Faye, I.B.N. (2004) – *Etude de la position du trait de côte de la baie d'Audierne entre Penhors et la pointe de la Torche : comparaison des méthodes de la photo-interprétation et les levés topographiques*, Mémoire de D.E.A de Géographie, U.B.O., Brest, 128 p.

Favennec J. (1998) – Guide de la flore des dunes littorales. De la Bretagne au Sud des Landes. Ed. Sud-Ouest, 167 p.

Foucault A., Raoult J.F. (2001) – *Dictionnaire de Géologie*. Dunod, Masson Sciences, 5ème édition, 379 p.

Gad L. (1999) – *Dynamique morphosédimentaire de la baie de Saint-Michel-en-Grève, Eléments d'analyse pour le suivi d'aménagement dans un espace sous influence fluvio-marine : la poche du Yar*, Mémoire de Maîtrise de Géographie, U.B.O., Brest, 186 p.

Gaillot S., Chaverot S. (2001) – Méthode d'étude des littoraux à faible évolution. Cas du delta du Golo (Corse) et du littoral du Touquet (Pas-de-Calais) en France, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1, 47-54.

Gay J.C. (2000) - La mise en tourisme des îles intertropicales. *Mappe Monde*, vol. 2, pp. 17-22.

Giresse P. (1966) sur quelques structures sédimentaires des plages du littoral gabonais. In : *Revue des Travaux Instruction Pêche Maritime*, n°30.

GIECC (2007) – Bilan 2007 des changements climatiques, Rapport de synthèse. *Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Équipe de rédaction principale, Pachauri R.K. et Reisinger A., GIEC, Genève, Suisse, 103 p.

Guilcher A (1953) – Mesures de la vitesse de sédimentation et d'érosion dans les estuaires bretons, *Extraits des Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 237, 1345-1347.

Guilcher A. (1954) – Morphodynamique littorale et sous-marine. P.U.F., Orbis, Introduction aux études de Géographies, 216 p.

Guilcher A. (1954) – Dynamique et morphologie des côtes sableuses de l'Afrique Atlantique. In : *info. Géogr.*, n°1, p. 7-68.

Guilcher A. (1956) – Etude géomorphologique des récifs coralliens du Nord-ouest de Madagascar. *Annales de l'institut Océanographique*, pp.65-136.

Guilcher A. (1961) – Le "beach-rock" ou grès de plage. *Annales de géographie*, vol. 378, pp. 113-125.

Guilcher A. (1965) – Coral reefs and lagoons of Mayotte island, Comoro Archipelago, India ocean and of new Caledonia, Pacific ocean. *Proc. 17th Symp. Colston Research Soc.*, Bristol, Whittard W.F. and Bradshaw R. (Ed), pp. 21-45.

Guilcher A (1978) – Observations comparatives sur un complexe littoral de la côte atlantique africaine. In : *Noroi*, 100.

Guilcher A (1990) – Coastal evolution in western Brittany as a regional test of impact of sea level rise, *Journal of Coastal Research*, SI 9, 67-90.

Hallegouët B., Morel V. (1994) – Flèches en chicanes, évolution du complexe du Loc'h en rade de Brest, *Penn ar Bed*, 152, 20-31.

Hauhouot C. (2000) – *Analyse et cartographie de la dynamique du littoral et des risques « naturels » côtiers en Côte d'Ivoire*. Thèse de Doctorat de Géographie, Institut de Géographie et d'Aménagement Régional, Géolittomer, LETG-UMR 6554, 290 p.

Joly F. (1997) - *Glossaire de géomorphologie. Base de données sémiologiques pour la cartographie*. Masson/Armand Colin, Paris.

Lamarre D. (2002) – Les risques climatiques. Collec. Belin Sup Géographie, 223 p.

Lalaut Y. (1992) – *Fonctionnement et efficacité des ouvrages statiques de protection des littoraux sableux*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université de Paris Sud.

Latteux B. (2008) – Exploitation de matériaux marins et stabilité du littoral. Ed Quae, 162 p.

Lebigre J.M., Marius C. (1984) – Etude d'une séquence Mangrove-Tanne en milieu équatorial, baie de la Mondah (GABON). *Géomorphologie Générale Travaux et Documents de Géographie Tropicale*, CEGET, no 51, p.132-134.

Lebigre J.M. (1983)- Le littoral du Gabon : Aspects géomorphologiques et biogéographiques. Institut Pédagogique National (GABON), département de sciences naturelles-d'histoire et de géographie, 58 p.

Lecolle J. (1971) – Sédimentologie des fonds lagunaires et estuariens. Variations morphologiques saisonnières de l'embouchure d'un fleuve en climat intertropical (Le Bandama – Côte d'Ivoire). In : Cahiers ORSTOM, série géol., III, 2, p. 189-220

Leone F., Vinnet F. (2006) – La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles, Analyses géographiques. Université Paul Valéry-Montpellier III, Collection Géorisques, 1, 139 p.

Leone F., Vinnet F. (2008) – La mise en carte des risques naturels, Diversité d'approche. Université Paul Valéry-Montpellier III, Collection Géorisques, 2, 89 p.

Leroux M (1982) – Température marines et précipitations sur les littoraux de l'Afrique tropicale. In : *Noroi*, 29, p. 479-497.

Levoy F., Abthony, Barusseau J.P., Howa H, Tessier B (1998)-Morphodynamique d'une plage macrotidale à barres. *CR.Acad.Sci.*, 327, p. 811-818.

Makiala G. (1998) – *L'envasement au complexe portuaire d'Owendo*. Mémoire de Maîtrise de Géographie. Université Nationale Omar Bongo, Faculté des Sciences Humaines de Libreville, 138 p.

Makouango R. (1994)- *Littoral Congolais et l'impact des activités humaines sur le milieu*. Thèse de Doctorat de Géographie, Université de Nantes, 551 p.

Malézieux J. (2002) – Le milieu littoral. Congrès National des Sociétés Historiques et Scientifiques- Actes, 124^e, Nantes 1999, CTHS, Paris, 322 p.

Masselink G. (1993) – Simulating the effects of tides on beach morphodynamic. *Journal of Coastal Research*, (SI 15), 180-197.

Masselink G. and Short A.D. (1993) – The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9(3), 785-800.

Masselink G. (1998) – Field investigation of wave propagation over a bar and the consequent generation of the secondary waves. *Coastal Engineering*, 33(1), 1-9.

Masselink G. (1999) – Alongshore variation in beach cusp morphology in a coastal embayment. *Earth surface processes and landforms*, 24, 335-347.

Menie Z. (2004)- *Analyse diachronique de l'évolution du Cap Lopez (Gabon) entre 1958 et 2004*. Rapport de DEA, CRENAM, Université Jean Monnet de Saint Etienne, 60 p.

Menie Z (2007)-*Analyse de la dynamique sédimentaire du Cap Lopez de 1957 à 2007. Cartographie de la bathymétrie et de la courbe +2m*. Rapport de recherche doctorale, Total Gabon-Direction des Activités Pétrolières-Service Travaux-Section Projet, Géolittomer-Nantes, 91 p.

Minko Meyé (1984) – Érosion littorale au Cap Lopez. Mémoire de Licence, Université Omar Bongo, Faculté des Sciences Humaines, 24 p.

Miniot C. (1977) – Action des courants, de la houle et du vent sur les sédiments. *La boule Blanche*, 1, p. 9-47.

Ministère de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (1984-1988)- 5^{ème} Plan de Développement Économique et Social.

Miossec A. (1998) – Les littoraux entre nature et aménagement. *Sedes, Collection Campus*, 192 p.

Miossec A. (1998) – La question du recul des côtes. In *Mappe Monde*, 52, 2 p. 1-6.

Miossec A. (2000)- Impacts socio-économiques de l'élévation du niveau de la mer : le cas de la France ; Actes du colloque le changement climatique et les espaces côtiers. « *L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses* », Arles, 12-13 octobre, p. 40-47.

Miossec A. (2001)- L'évolution de la géographie des océans et des littoraux face aux perspectives du développement durable au XXI^e siècle. Quelles hypothèses envisager ? *Annales de géographie*, vol. 621, pp. 509-526.

Mombé Nguema J. (1986) – La protection du littoral gabonais : une nécessité impérieuse. In : « L'union » Premier quotidien gabonais d'information, 3264.

Mombé Nguema J. (1992) – Le Gabon doit veiller à la protection des infrastructures et équipements publics construits en bordure de la mer. In : *La Clé*, 69.

Mombé Nguema J. (2000) – Traitement de l'érosion marine sur la côte septentrionale du Gabon, de l'embouchure de l'Ogooué à l'estuaire du Muni. Thèse de Doctorat de Géographie, Université de Nantes, Tome 1, 351 p.

Mombé Nguema J. (2000) – Traitement de l'érosion marine sur la côte septentrionale du Gabon, de l'embouchure de l'Ogooué à l'estuaire du Muni. Thèse de Doctorat de Géographie, Université de Nantes, Tome 2, p.353-619.

Moreau N. (1990) – Identification et dynamique des paysages de mangroves en Guinée à l'aide du satellite Spot 1. CNRS-CEGET., Chap. d'ouvr. ; actes table ronde internat. Talence, France, p. 6, 107-131, 14 fig. 5 photos.

Morhange C. (2001) – Mobilité littorale de quelques sites portuaires antiques de Méditerranée, Marseille, Pouzzoles, Cumes, Kition et Sidon. Habilitation à Diriger les Recherches, CEREGE UFR de sciences géographiques, Université d'Aix-Marseille.

Moriniaux V. (2003) – Les risques. Ouvrage collectif des questions de géographie, Edition Du Temps, 256 p.

Morin F. J. (1997) – La stratigraphie du tertiaire et du quaternaire. Pub. Université des Sciences et Technique de Masuku (Gabon), Dép. de Géologie, 112 p.

Mossoudou L. (1984) – *Etudes sédimentaires et géodynamiques des forages entre plate-forme et talus dans la région de Port-Gentil*. Thèse de Doctorat de 3^{ème} Cycle en Géologie, Université de Dijon, 168 p.

Muller J.P. (1972) – Étude macromorphologique des sols ferralitiques appauvris en argile du Gabon. *Cah. ORSTOM*, sér. Pédol., vol. X, no 1, p. 77-93.

Mouganga M. (2001) - *Les systèmes flèches-lagunes des littoraux gabonais et congolais : contribution à l'élaboration d'une base de données pour la gestion intégrée des milieux lagunaires*. Thèse doctorat en géomorphologie littorale, Laboratoire Géomer, Université de Bretagne Occidentale, 340 p.

Musereau J. (2009) – Approche de la gestion des cordons littoraux : Mise au point et application d'un indice d'érosion (Zone des Pertuis Charentais, France). Thèse de Doctorat, Université de Rennes, 306 p.

PNUD. (2003) – Objectifs du Millénaire pour le Développement. République Gabonaise, *Premier Rapport National*, 33 p.

Ondo Assoumou E. (2006) – *Dynamique des paysages végétaux du littoral Centre Ouest du Gabon autour de Port-Gentil : Approche spatiale et analyse des données de terrain*. Thèse de Doctorat de Géographie, Université Paul Valéry Montpellier 3, 302 p.

Nzienguy Mabila P. (1981) – *Dynamique urbaine du grand Libreville : « laisser-faire et volonté d'aménagement »*. Thèse de Doctorat de 3^{ème} Cycle de Géographie, Université de Bordeaux, 444 p.

Perrusset A.C. (1981) – Aperçu de la géomorphologie du Gabon. In : *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, n°58.

Paskoff R. (1981)- L'érosion des côtes. P.U.F. Col (*Que sais-je ?*), 126 p.

- Paskoff R. (1989) – Le reflux du littoral. In : *Le Monde* n° 13820, p. 17.
- Paskoff R. (1993) – Côtes en danger. Masson, Paris 1993, 250 p.
- Paskoff R. (1994) – Les littoraux, impacts des aménagements sur leur évolution. *Masson*, Paris, 256 p.
- Paskoff R. (1996) – Les risques naturels sur les côtes : inondations, érosions et glissements. In : *Risques naturels et risques de sociétés, Economica*, sous la direction de A.S. Bailly, 103 p.
- Paskoff R. (1998) – La crise des plages : pénurie de sédiments. In : *Mappe Monde*, 52, 4 p. 11-15.
- Paskoff R. (1998) – Conséquences possibles sur les milieux littoraux de l'élévation du niveau de la mer prévue pour les prochaines décennies. *Armand Colin, Ann. Géo.*, p. 233-248.
- Paskoff R. (2001) – L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers. Institut océanographique, Collection « Propos », 190 p.
- Paul S., Ducher G., Jobard I., Latarche C., Lenco M. (1997) – Terminologie de Télédétection et de Photogrammétrie. Pub. Conseil International de la Langue Française, Paris, 455 p.
- Pinot J.P. (1994) – Géomorphologie des milieux littoraux et pré-littoraux. Université de Bretagne Occidentale, Brest, Fascicule 104 p.
- Pinot J.P. (1994) – Vocabulaire de géomorphologie littorale et de l'aménagement littoral. Université de Bretagne Occidentale, Brest, fascicule.
- Pinot J.P. (1994) – Levés topographiques courants. Université de Bretagne Occidentale, Brest, fascicule 100 p.
- Pinot J.P. (1998) – La gestion du littoral. Littoraux tempérés : Côtes rocheuses et sableuses. Ed. Institut Océanographique, Tome 1.
- Pinot J.P. (1998) – La gestion du littoral. Littoraux tempérés : littoraux vaseux et embouchures. Institut Océanographique, Tome 2, 757 p.
- Pirazzoli P.A. (1984) – Cartographie des hauts fonds par télédétection dans l'archipel des Gambier (Polynésie française). *L'espace Géographique* 1984, n°3, p. 277-284, 304.
- Pirazzoli P.A. (1993) – Les littoraux. Collection Nathan, 189 p.
- Pirazzoli P.A. (1998) – La relativité des nouveaux de la mer. In : *Mappe Monde*, 52, 4, p. 7-15.
- Pirazzoli P.A. (1998) Sur la vitesse des variations du niveau de la mer. In : *Armand Colin, Ann. Géo.*, n°600, p.220-232.
- Pomerol C., Renard M. (1997) – Eléments de géologie. Masson, paris, 629 p.
- Pornon H. – Systèmes d'Information géographique des concepts aux réalisations. STU Hermes, 108 p.

PNUE (1985) – Érosion côtière en Afrique de l'Ouest et du Centre. *In : Mer régionales*, n°67.

Quelennec R. E. (1987) – Érosion côtière en Afrique de l'Ouest et du Centre : causes naturelles et anthropiques, perspectives et conséquences pour la protection et l'aménagement du littoral. *In : Nature et Ressources*, vol 23, 3-4, 2-9.

Rabenkogo N. (1989) Evolution de la presqu'île Mandji de 1957 à nos jours. Mémoire de Maîtrise, Université Omar Bongo, Faculté des Sciences Humaines, 123 p.

Regrain R, Verger F. (1982) – Télédétection satellitaire et géographie. L'exemple de la cartographie du domaine littoral. *Bull. as. Géogr. Franc.*, p. 489-490, 271-297.

Rencontre Annuelle du DESMAR (2008) – La vulnérabilité de l'île Mandji face aux menaces naturelles et anthropiques. *Rapport de synthèse*, 1^{er} circulaire, 7 p.

Reyre D. (1983) – Evolution géologique du bassin gabonais- bassins sédimentaires du littoral africain. *Symposium New Delhi 1964*.

Reyre D. (1989) – Dynamique et méthodes d'étude des bassins sédimentaires. Ed. Technip, Paris, p. 227-247.

Robin N. (2006). *Morphodynamique des systèmes flèches sableuses : Etude entre les embouchures tidales de l'archipel de Saint Pierre et Miquelon et de la côte Ouest du Cotentin*. Thèse de doctorat, Université de Caen

Robin M. (1998) – Détermination de l'énergie des houles et de leur capacité à générer une dérive littorale à l'aide d'une image Spot par transformée de Fourier. Exemple de Grand-Lahou, République de Côte d'Ivoire. *In : Cahiers Nantais n° 49*, p. 127-138.

Robin M. (1999) – Télédétection et modélisation du trait de côte et de sa cinématique. Hommage au Professeur F. Verger, Coll. ENS, à paraître.

Robin M., Hauhouot C. (1999) – Le risque généré par une érosion côtière d'origine partiellement anthropique : le cas de la baie de Port-Bouët, Abidjan Côte d'Ivoire.

Robin M., Hauhouot C. (1999) – Les risques naturels côtiers en Côte d'Ivoire. *In : Géographie ivoirienne, Cahiers Nantais n°51*, p. 169-185.

Robin M. (2002) – Télédétection. Des satellites aux SIG. Une analyse complète du processus de création d'un type essentiel d'information géographique. Ed. Nathan, 318 p.

Rossi G. (1991)- Evolution d'un front deltaïque et actions anthropiques : Le cas du delta de la Volta (Ghana). *In : Cahiers d'Outre-mer*, 44, 176.

Rossi G., Bariste L. (1994) – Du modèle à la nature : l'exemple de la côte togolaise. *In : Cahiers Nantais*, 41-42.

Rossi G (1988) – Un exemple d'utilisation d'une défense naturelle contre l'érosion côtière. Le grès de plage. *Revue de Géomorphologie dynamique* XXXVIIe n°1 ; p 1-10.

Suanez S. (1997) – *Dynamiques sédimentaires actuelles et récentes de la franche littorale orientale du delta du Rhône*. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille 1, 283 p.

Suanez S., Simon B. (1997). Utilisation de l'analyse diachronique dans l'étude de l'évolution du littoral oriental du delta du Rhône (France, Sud-Est). *Photo-interprétation*, 3-4, 147-154.

Suanez S., Stephan P. (2006) – Forçages météo-marins et dynamique morphosédimentaire saisonnière des cordons dunaires. Exemple de la baie de Saint-Michel-En-Grève (Côte d'Armor, Bretagne). *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, sous presse.

Sitou L., Tchicaya J. (1991) – L'érosion en cirque dans la région côtière du Congo. In : *Bulletin de la société géographique de Liège*, vol 27.

Stéphan P. (2005) - *Les flèches de galets de Bretagne : Morphodynamique passée, présente et prévisible*. Thèse de Doctorat, Laboratoire Géomer, Université de Bretagne Occidentale.

Sunamura T. (1986) – A parameter for cross-shore sediment transport direction and its application to beach erosion/accretion problem. Annual report of the institute of Geoscience.

Sunamura T (1988) – Beach morphologies and their change. Nearshore dynamics and coastal processes, Horikawa K (ed.), University of Tokyo press 135-161.

TELEDETECTION (1999) – Revue de recherche et d'application en télédétection. Dubois J.M. Rédacteur en chef, Vol. 1, 1, 69 p.

Vennetier P. (1991) – Aménagements littoraux et évolution d'un système lagunaire : étude de cas au Bénin. In *Cahiers d'Outre-mer*, vol 44, p 176.

Veyret Y. (2004) – *Géographie des risques naturels en France, de l'aléa à la gestion*. Ouvrage publié sous la direction d'Annette Ciattoni professeur au lycée Louis le Grand, Hatier, Paris, 251 p.

Veyret Y. (2004) – Les risques. *Dossiers des Images Économiques du Monde (DIEM)*, sous la direction d'André Gamblin. Université Paris X, Sedes, Paris, 255 p.

Veyret Y. (2004) – Risques naturels et aménagement en Europe. Ouvrage collectif, Armand Colin, Paris, 254 p.

Walter R. (1983) – Libreville. In *Géographie et cartographie du Gabon*. Atlas illustré de l'institut pédagogique National.

Wright L.D., Nielsen P. and Short A.D. (1982) – Morphodynamics of a macrotidal beach. *Marine Geology*, 50, 97-128.

Wright L.D. and Short A.D. (1984) – Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56, 93-118.

Yoni C (1995) – Dynamique des flèches dunaires à pointe libre de Bretagne. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 348 p.

ANNEXES

ANNEXE A1 : approche globale de la mobilité du trait de côte entre 1962 et 2001 – quantification du déplacement par profil (valeurs en mètre)

ID	Dyn_62_1974	Dyn_62_1990	Dyn_62_2001
44	-10,80	12,60	10,60
1	7,00	-20,00	-8,00
2	9,00	-10,00	-6,50
3	7,00	-13,00	-6,00
4	6,00	-10,00	-8,00
5	10,70	-6,30	-1,50
6	10,00	-6,90	1,10
7	4,80	-5,50	3,00
8	0,40	-1,00	4,30
9	1,80	-3,50	3,50
10	-4,70	-1,60	4,90
11	-5,50	-3,20	8,60
12	-6,00	-2,30	5,90
13	-7,40	-2,50	8,10
14	-11,70	-5,60	4,60
15	3,60	2,80	1,60
16	-6,00	-7,40	0,70
17	-6,90	-10,70	-6,30
18	-1,70	-8,80	-7,60
19	-4,00	-12,00	-9,50
20	-5,20	-13,00	10,60
21	-14,50	-20,90	-25,20
22	6,10	0,00	15,40
23	30,00	16,30	25,00
24	-6,70	-15,30	17,50
25	-1,20	0,00	2,90
26	5,00	8,30	7,40
27	7,40	5,50	7,00
28	-1,30	-3,33	-10,50
29	12,50	6,10	0,00
30	1,10	-9,50	-4,50
31	0,00	3,30	-1,50
32	0,00	-4,50	-4,50
33	1,10	5,20	5,20
34	5,30	3,00	6,00
35	6,20	9,50	7,40
36	10,00	6,60	7,00
37	8,60	16,00	11,10
38	7,80	17,80	14,60
39	6,10	16,00	16,00
40	1,40	17,00	16,00
41	30,60	28,60	30,60
42	-2,00	18,90	17,20
43	-4,70	15,00	12,00

ANNEXE A2 : suivi de la ligne de côte +2 m

"Zone Sud du phare"

Profils 96, 95, 94, 93, 92 et 91

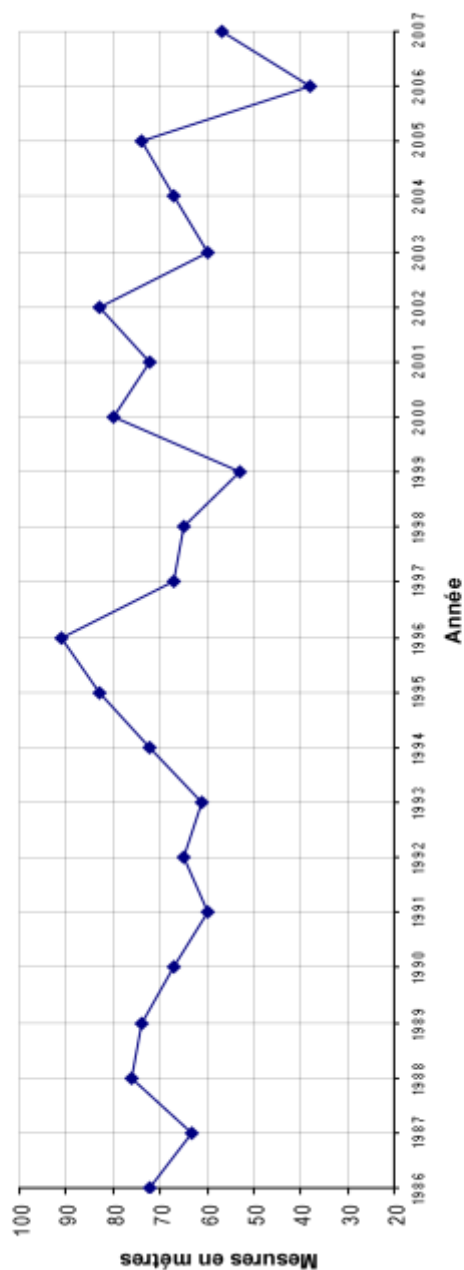


Suivi de la ligne de côte (+2m)

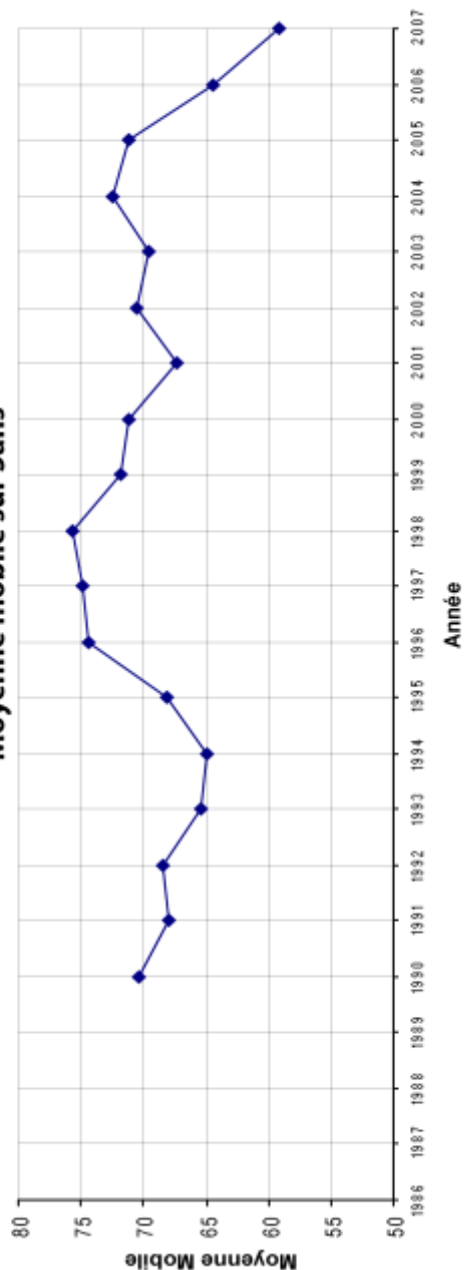
ZONE SUD		
Nom Profil	Point Origine	
91	91	

Année	Côte table	Ecart lan	Moy Mob
1986	72		
1987	63	-9	
1988	76	13	
1989	74	-2	
1990	67	-7	70.4
1991	60	-7	68
1992	65	5	68.4
1993	61	-4	65.4
1994	72	11	65
1995	83	11	68.2
1996	91	8	74.4
1997	67	-24	74.8
1998	65	-2	75.6
1999	53	-12	71.8
2000	80	27	71.2
2001	72	-8	67.4
2002	83	11	70.6
2003	60	-23	69.6
2004	67	7	72.4
2005	74	7	71.2
2006	38	-36	64.4
2007	57	19	59.2

Mesure station 91



Moyenne mobile sur 5 ans



Source: Total Gabon, 2007

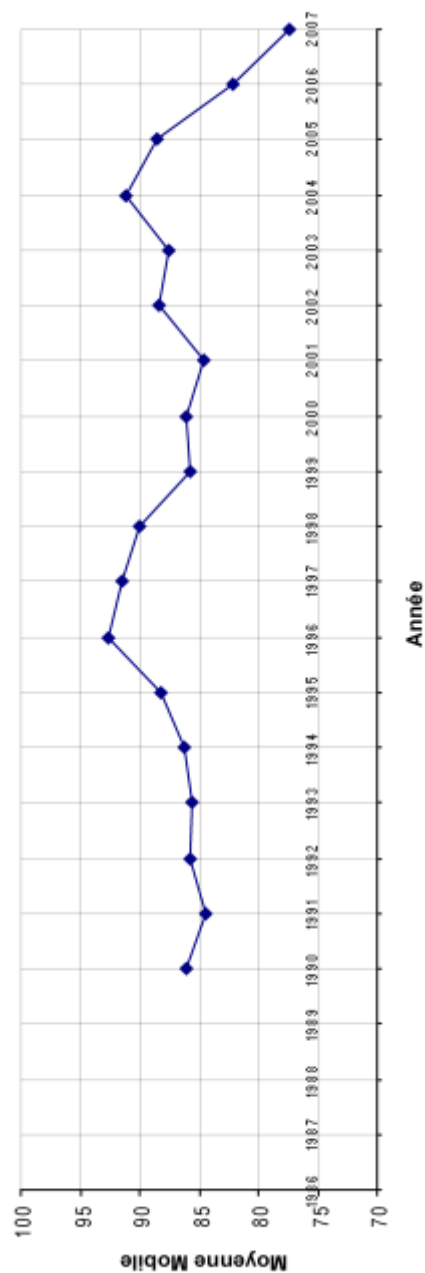
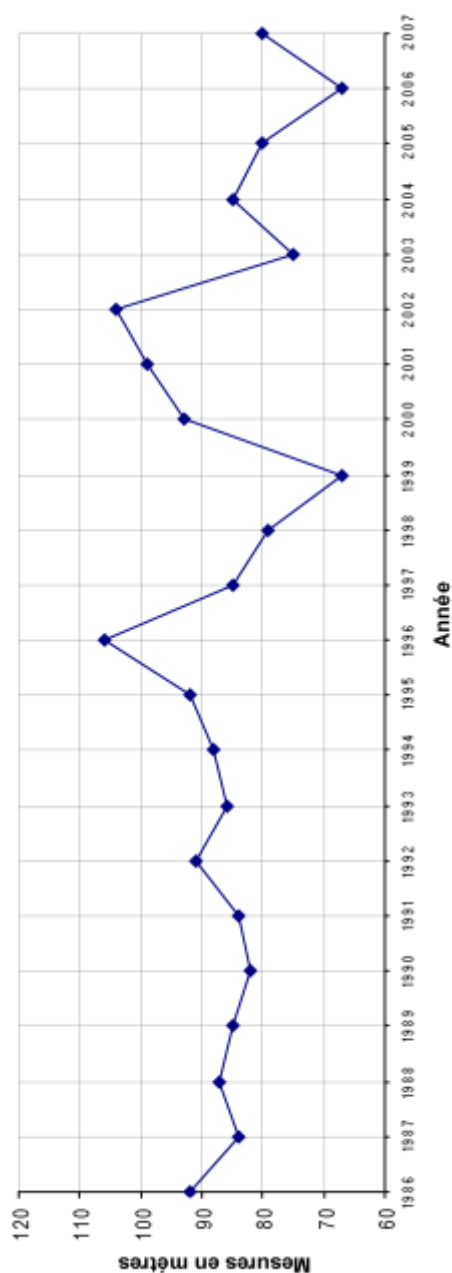
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE SUD		
Nom Profil	Point Origine	
92	92	

Année	Côte lable	Ecart an	Mov Mob
1986	92		
1987	84	-8	
1988	87	3	
1989	85	-2	
1990	82	-3	86
1991	84	2	84.4
1992	91	7	85.8
1993	86	-5	85.6
1994	88	2	86.2
1995	92	4	88.2
1996	106	14	92.6
1997	85	-21	91.4
1998	79	-6	90
1999	67	-12	85.8
2000	93	26	86
2001	99	6	84.6
2002	104	5	88.4
2003	75	-29	87.6
2004	85	10	91.2
2005	80	-5	88.6
2006	67	-13	82.2
2007	80	13	77.4

Profil 92



Source: Total Gabon, 2007

Conception et réalisation: MENIE Zephirin

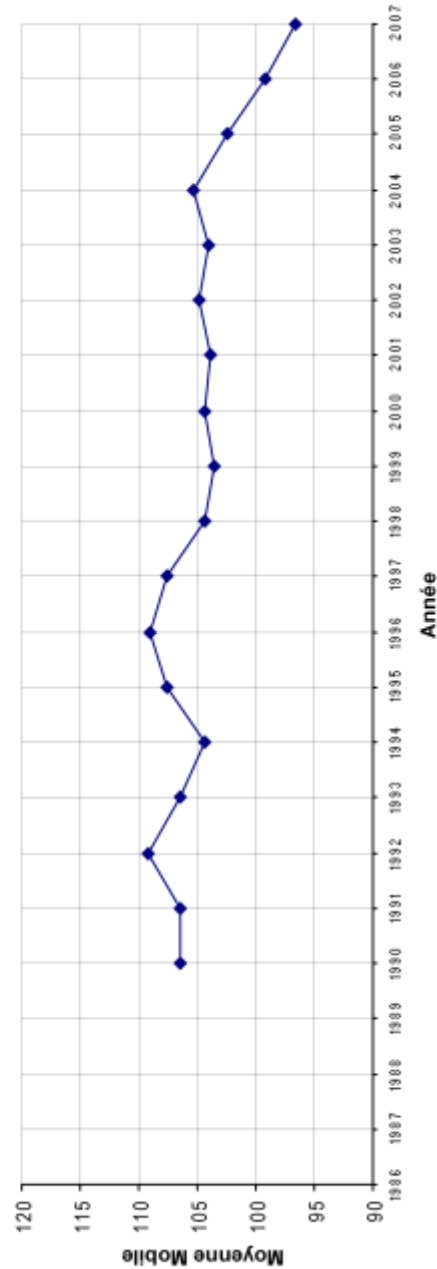
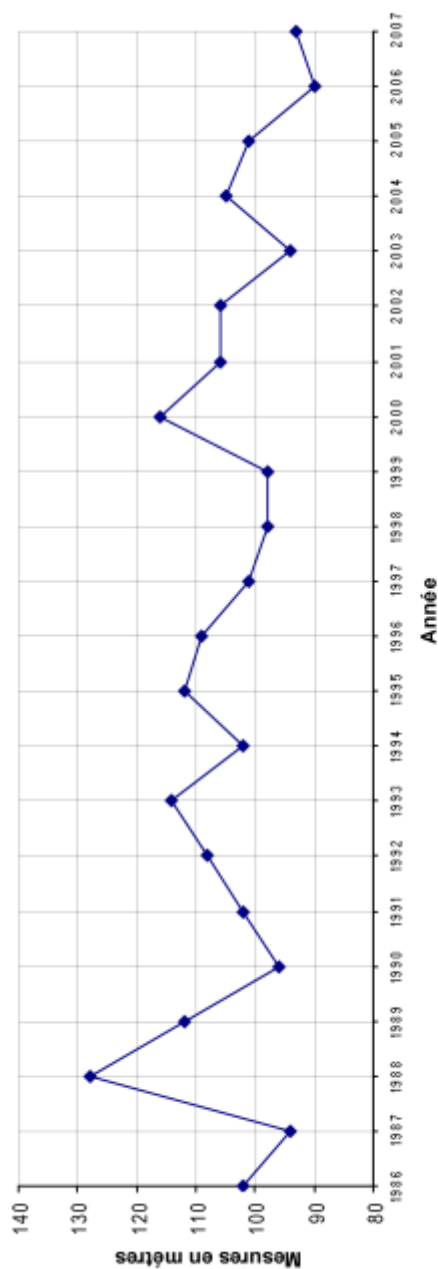
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE SUD		
Nom Profil	Point Origine	
93	93	

Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1986	102		
1987	94	-8	
1988	128	34	
1989	112	-16	
1990	96	-16	106.4
1991	102	6	106.4
1992	108	6	109.2
1993	114	6	106.4
1994	102	-12	104.4
1995	112	10	107.6
1996	109	-3	109
1997	101	-8	107.6
1998	98	-3	104.4
1999	98	0	103.6
2000	116	18	104.4
2001	106	-10	103.8
2002	106	0	104.8
2003	94	-12	104
2004	105	11	105.4
2005	101	-4	102.4
2006	90	-11	99.2
2007	93	3	96.6

Source: Total Gabon, 2007

Profil 93



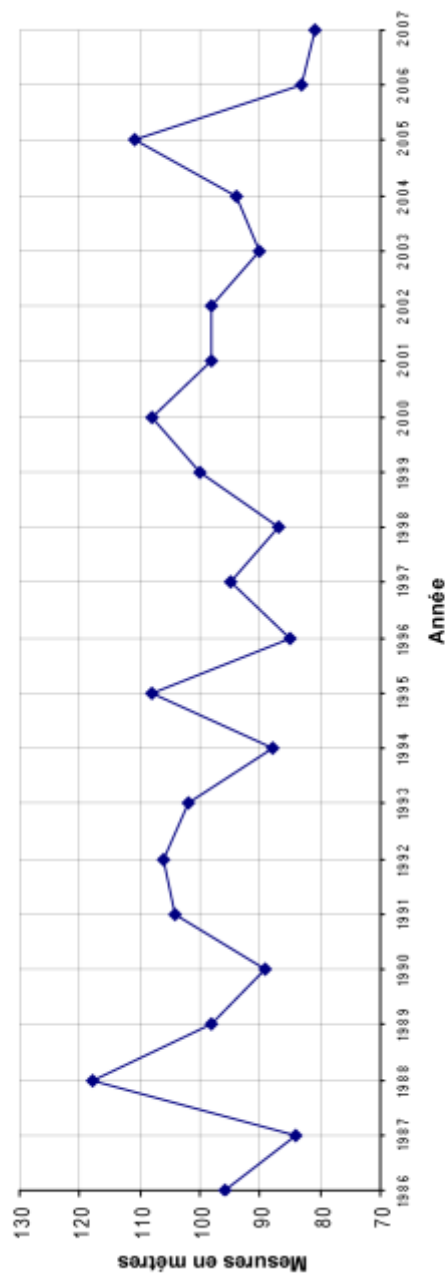
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Suivi de la ligne de côte (+2m)

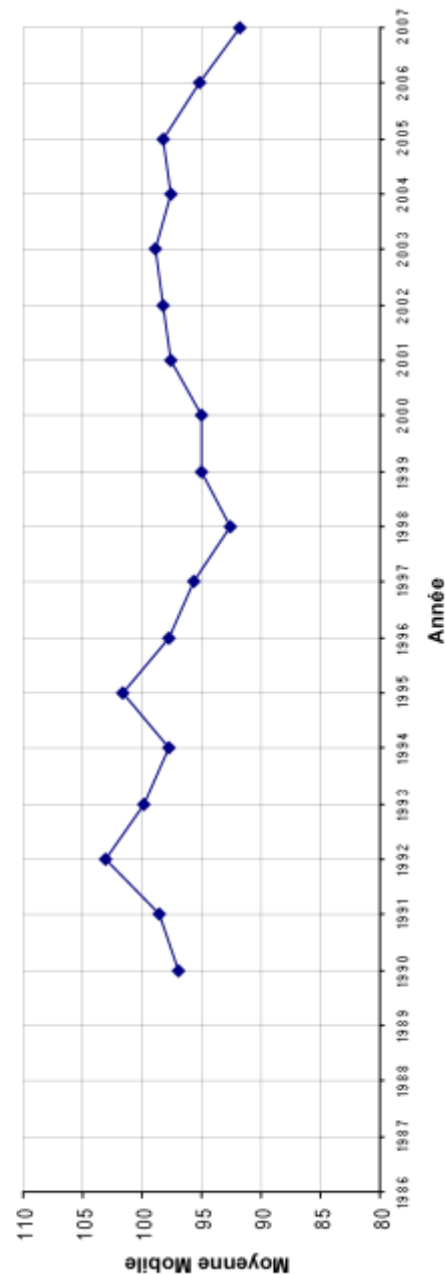
ZONE SUD	
Nom Profil	Point Origine
94	94

Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1986	96		
1987	84	-12	
1988	118	34	
1989	98	-20	
1990	89	-9	97
1991	104	15	98.6
1992	106	2	103
1993	102	-4	99.8
1994	88	-14	97.8
1995	108	20	101.6
1996	85	-23	97.8
1997	95	10	95.6
1998	87	-8	92.6
1999	100	13	95
2000	108	8	95
2001	98	-10	97.6
2002	98	0	98.2
2003	90	-8	98.8
2004	94	4	97.6
2005	111	17	98.2
2006	83	-28	95.2
2007	81	-2	91.8

Profil 94



Profil 94



Source: Total Gabon, 2007

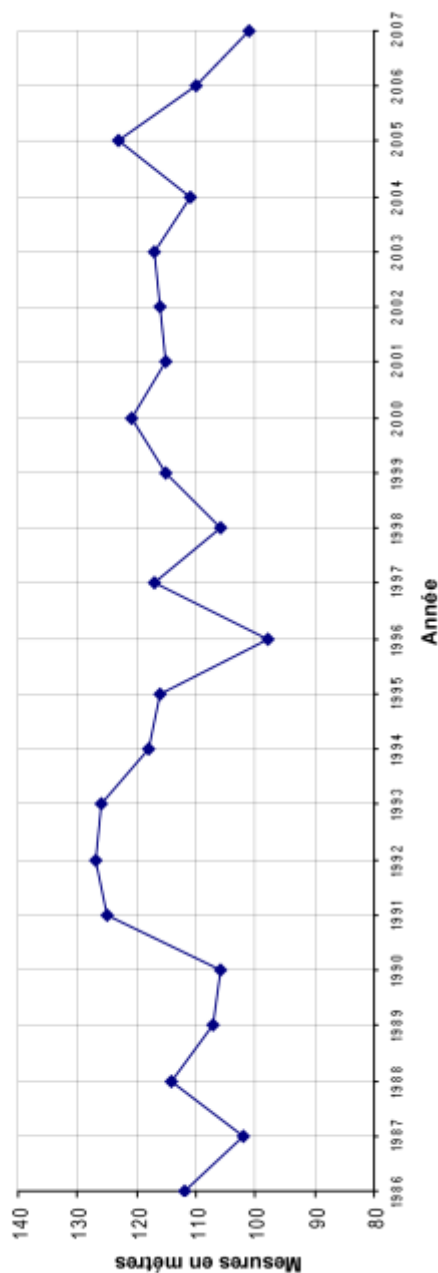
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Suivi de la ligne de côte (+2m)

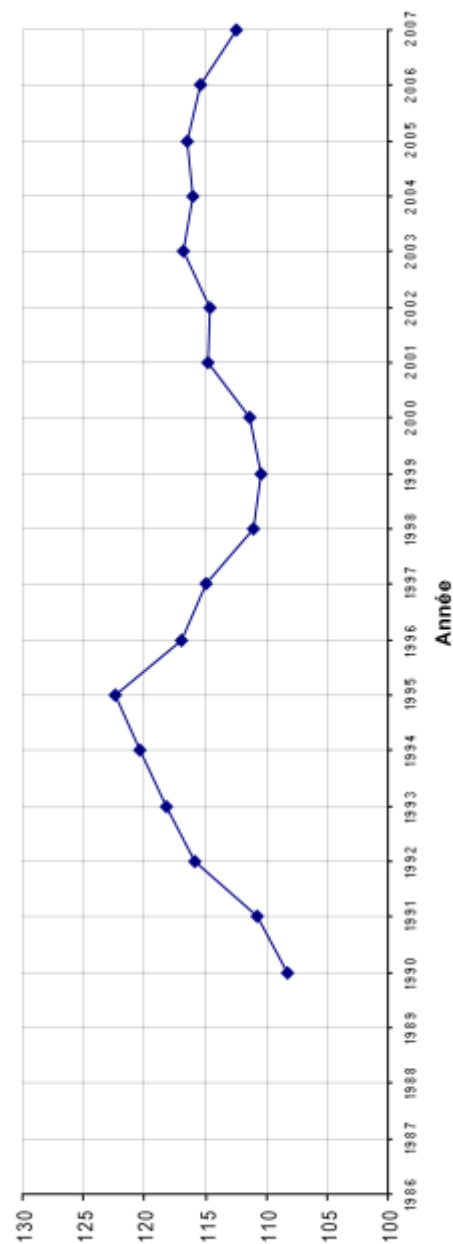
ZONE SUD		
Nom Profil	Point Origine	
95	95	

Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1986	112		
1987	102	-10	
1988	114	12	
1989	107	-7	
1990	106	-1	108,2
1991	125	19	110,8
1992	127	2	115,8
1993	126	-1	118,2
1994	118	-8	120,4
1995	116	-2	122,4
1996	98	-18	117
1997	117	19	115
1998	106	-11	111
1999	115	9	110,4
2000	121	6	111,4
2001	115	-6	114,8
2002	116	1	114,6
2003	117	1	116,8
2004	111	-6	116
2005	123	12	116,4
2006	110	-13	115,4
2007	101	-9	112,4

Profil 95



Moyenne Mobile



Source: Total Gabon, 2007

Conception et réalisation: MENIE Zephirin

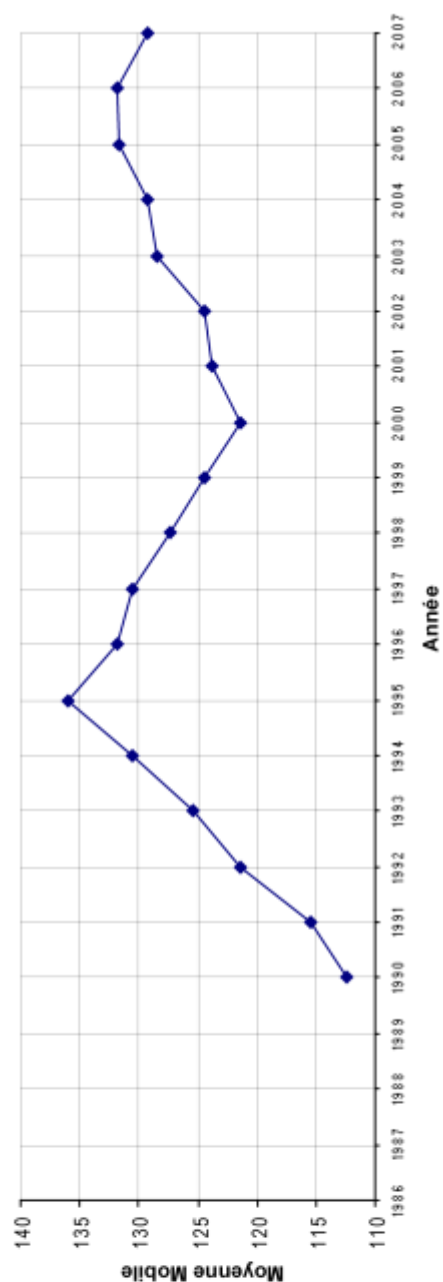
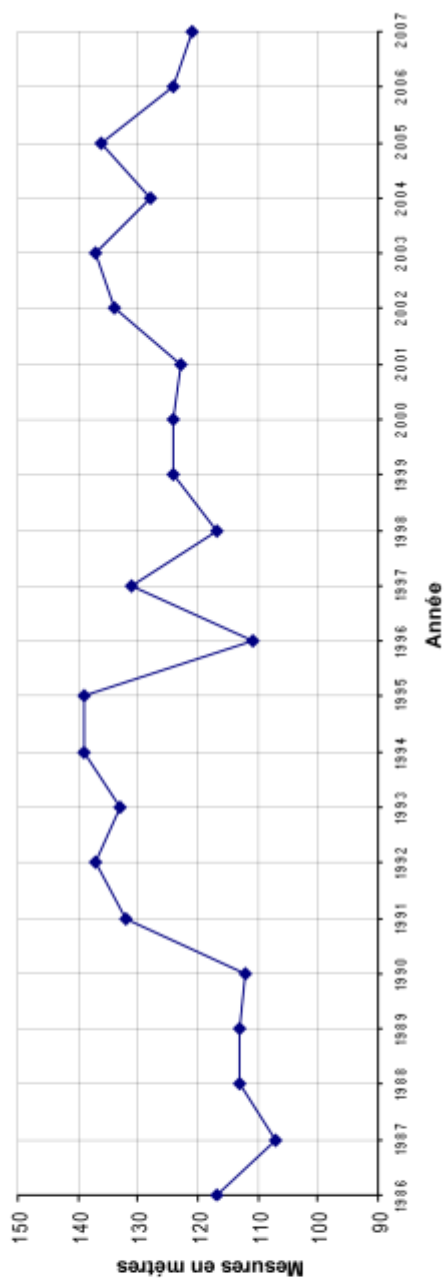
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE SUD	
Nom Profil 96	Point Origine 96 D

Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1986	117		
1987	107	-10	
1988	113	6	
1989	113	0	
1990	112	-1	112.4
1991	132	20	115.4
1992	137	5	121.4
1993	133	-4	125.4
1994	139	6	130.6
1995	139	0	136
1996	111	-28	131.8
1997	131	20	130.6
1998	117	-14	127.4
1999	124	7	124.4
2000	124	0	121.4
2001	123	-1	123.8
2002	134	11	124.4
2003	137	3	128.4
2004	128	-9	129.2
2005	136	8	131.6
2006	124	-12	131.8
2007	121	-3	129.2

Source: Total Gabon, 2007

Profil 96



Conception et réalisation: MENIE Zephirin

"Zone A et B Phare du Cap Lopez"

Profils 87, 86, 85, 848, 1B, 6Ter (N, NW, W), 11A et 17A

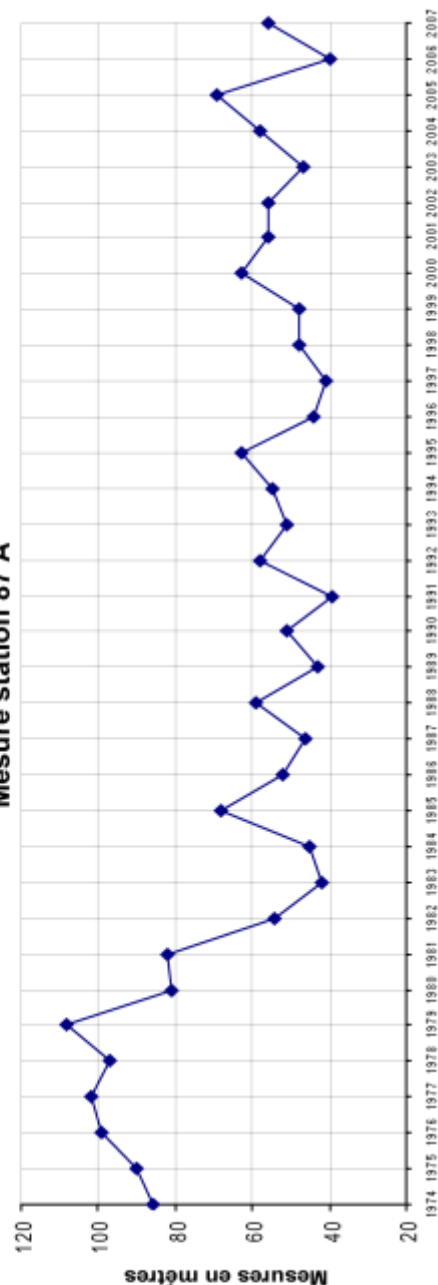


Suivi de la ligne de côte (+2m)

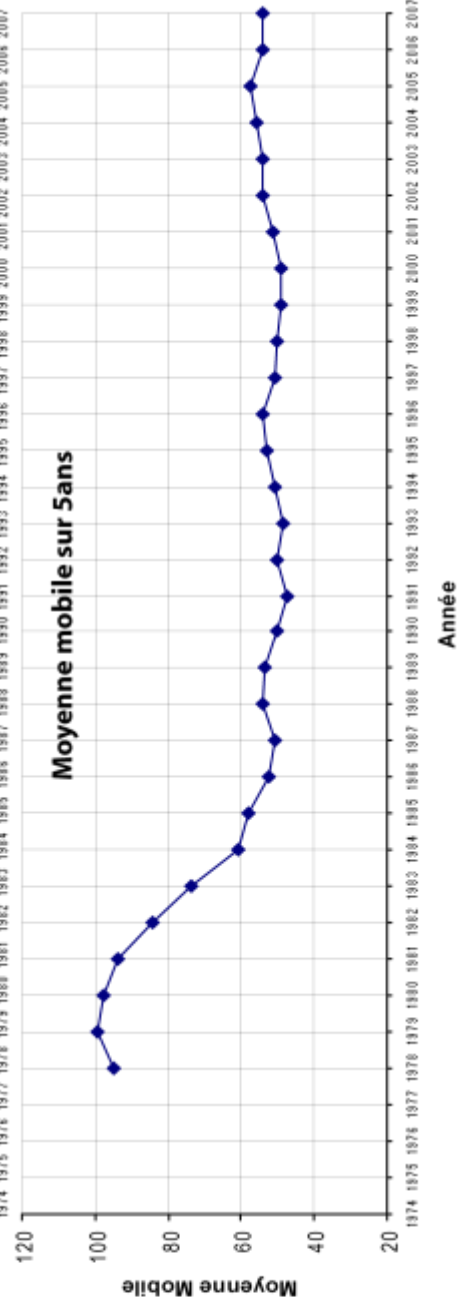
ZONE A		
Nom Profil	Point Origine	
87	87 A.	

Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	86		
1975	90	4	
1976	99	9	
1977	102	3	
1978	97	-5	94.8
1979	108	11	99.2
1980	81	-27	97.4
1981	82	1	94
1982	54	-28	84.4
1983	42	-12	73.4
1984	45	3	60.8
1985	68	23	58.2
1986	52	-16	52.2
1987	46	-6	50.6
1988	59	13	54
1989	43	-16	53.6
1990	51	8	50.2
1991	39	-12	47.6
1992	58	19	50
1993	51	-7	48.4
1994	55	4	50.8
1995	63	8	53.2
1996	44	-19	54.2
1997	41	-3	50.8
1998	48	7	50.2
1999	48	0	48.8
2000	63	15	48.8
2001	56	-7	51.2
2002	56	0	54.2
2003	47	-9	54
2004	58	11	56
2005	69	11	57.2
2006	40	-29	54
2007	56	16	54

Mesure station 87 A



Moyenne mobile sur 5ans



Source: Total Gabon, 2007

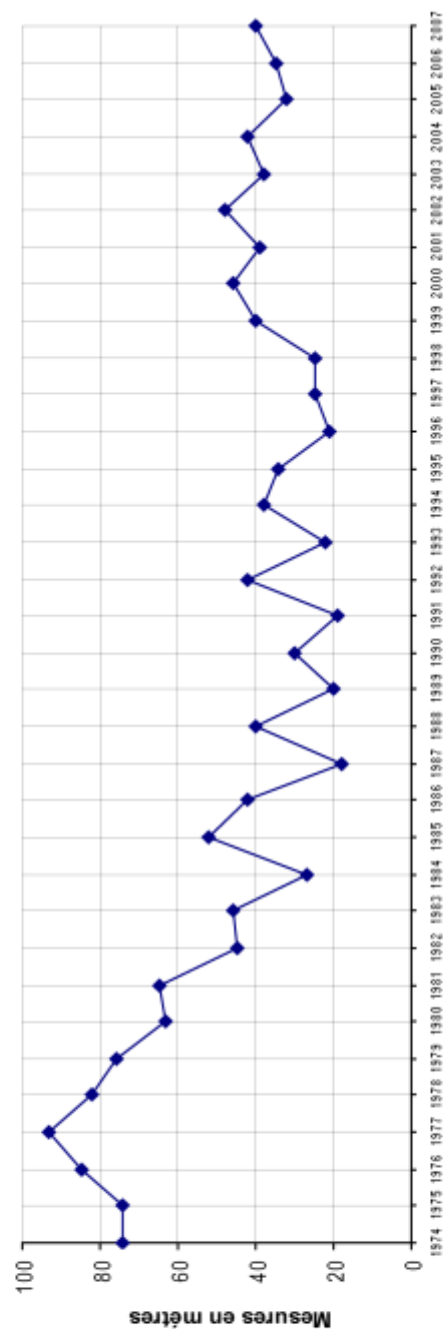
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Suivi de la ligne de côte (+2m)

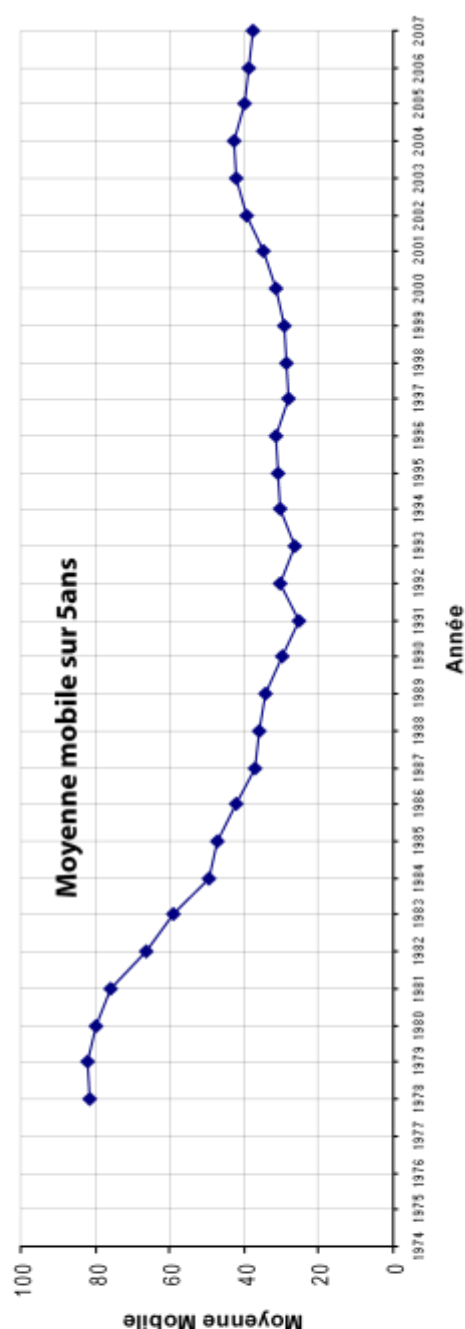
ZONE A		
Nom Profil	86	Point Origine 86 A

Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	110		
1975	102	-8	
1976	95	-7	
1977	107	12	
1978	95	-12	101.8
1979	85	-10	96.8
1980	83	-2	93
1981	77	-6	89.4
1982	63	-14	80.6
1983	65	2	74.6
1984	55	-10	68.6
1985	58	3	63.6
1986	57	-1	59.6
1987	31	-26	53.2
1988	34	3	47
1989	45	11	45
1990	36	-9	40.6
1991	24	-12	34
1992	8	-16	29.4
1993	21	13	26.8
1994	6	-15	19
1995	14	8	14.6
1996	4	-10	10.6
1997	10	6	11
1998	7	-3	8.2
1999	-12	-19	4.6
2000	-6	6	0.6
2001	-17	-11	-3.6
2002	-19	-2	-9.4
2003	-20	-1	-14.8
2004	-10	10	-14.4
2005	18	28	-9.6
2006	-26	-44	-11.4
2007	-19	7	-11.4

Mesure station 86 A



Moyenne mobile sur 5ans



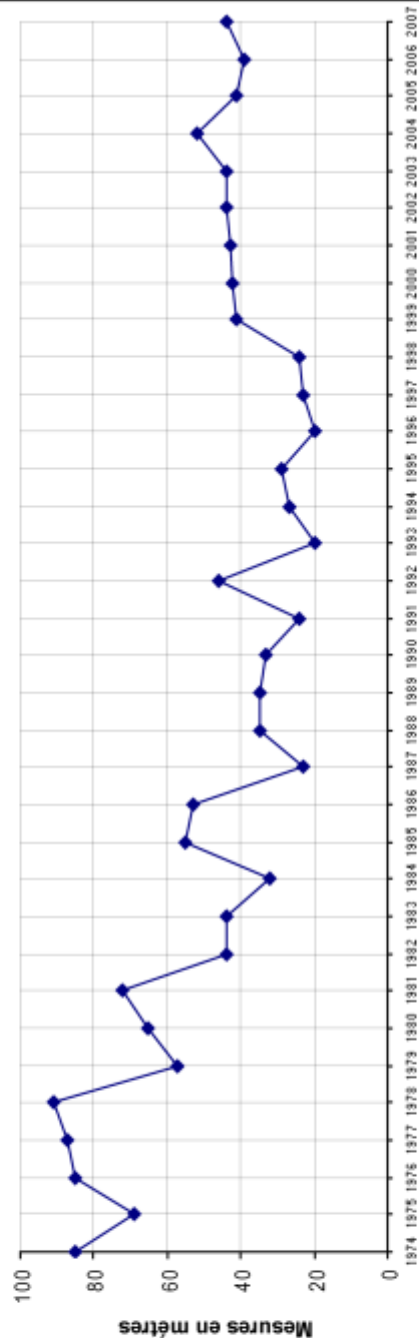
Source: Total Gabon, 2007

Conception et réalisation: MENIE Zephirin

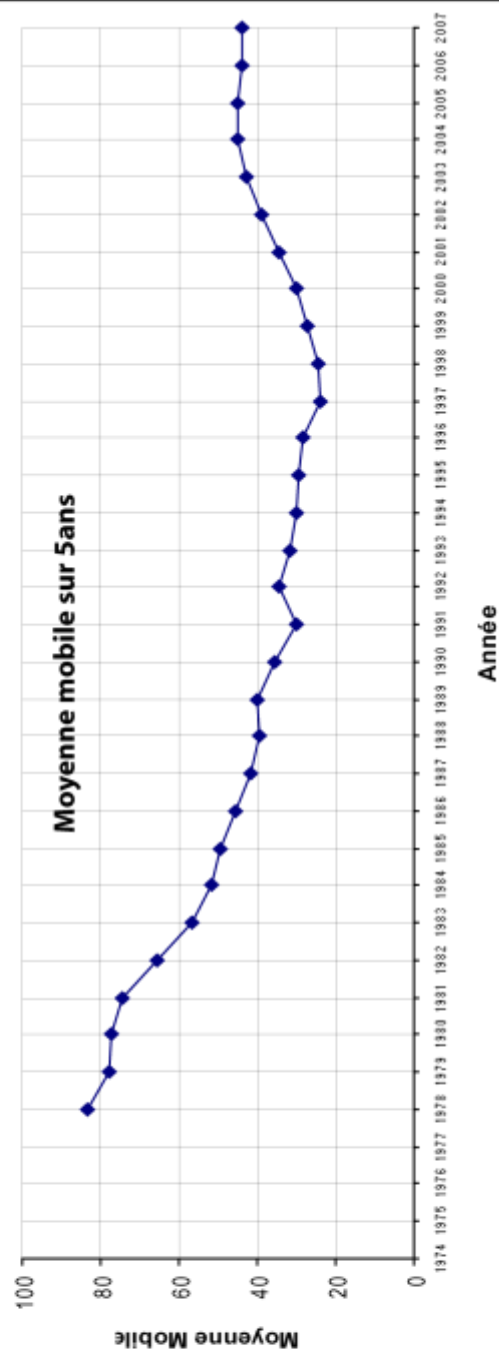
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE A		
Nom Profil	85	Point Origine
		85 A

Mesure station 85 A



Moyenne mobile sur 5ans



Source: Total Gabon, 2007

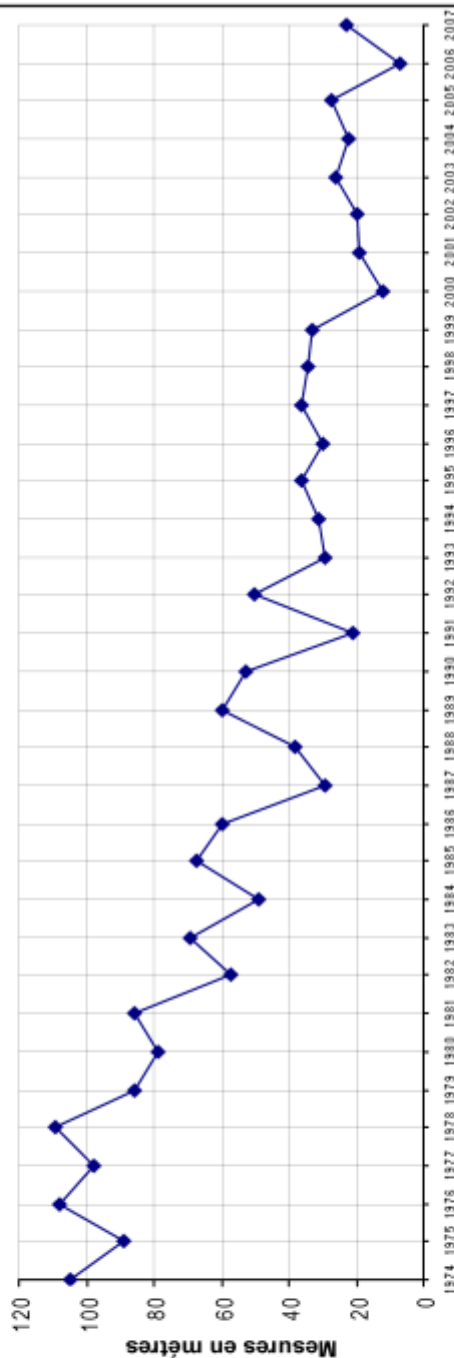
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Suivi de la ligne de côte (+2m)

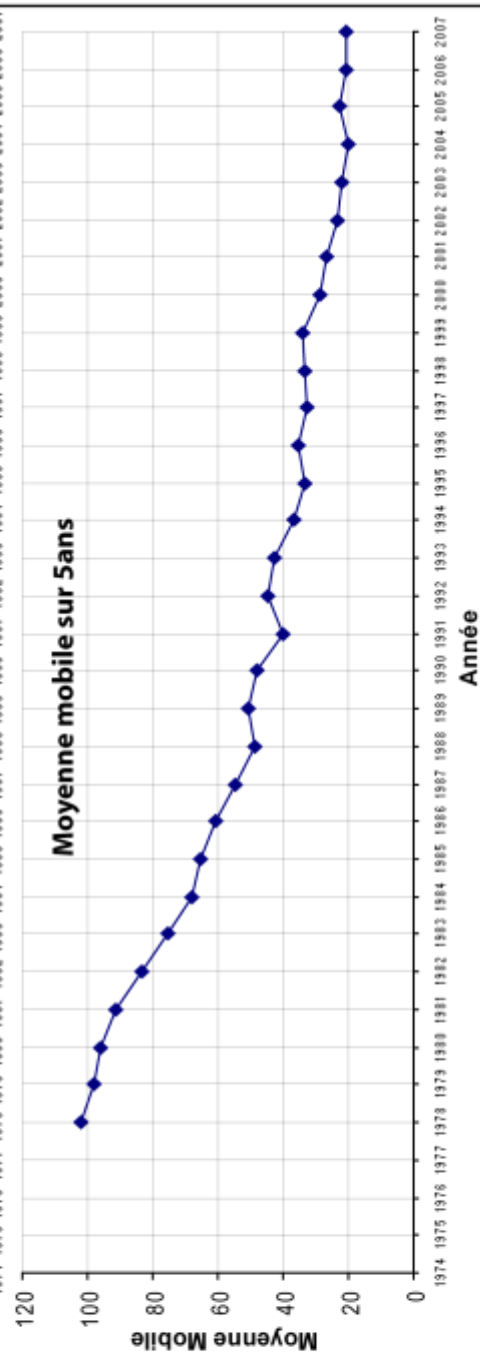
ZONE A		
Nom Profil	848	Point Origine
		848 A

Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	105		
1975	89	-16	
1976	108	19	
1977	98	-10	
1978	109	11	101.8
1979	86	-23	98
1980	79	-7	96
1981	86	7	91.6
1982	57	-29	83.4
1983	69	12	75.4
1984	49	-20	68
1985	67	18	65.6
1986	60	-7	60.4
1987	29	-31	54.8
1988	38	9	48.6
1989	60	22	50.8
1990	53	-7	48
1991	21	-32	40.2
1992	50	29	44.4
1993	29	-21	42.6
1994	31	2	36.8
1995	36	5	33.4
1996	30	-6	35.2
1997	36	6	32.4
1998	34	-2	33.4
1999	33	-1	33.8
2000	12	-21	29
2001	19	7	26.8
2002	20	1	23.6
2003	26	6	22
2004	22	-4	19.8
2005	27	5	22.8
2006	7	-20	20.4
2007	23	16	21

Mesure station 848 A



Moyenne mobile sur 5ans



Source: Total Gabon, 2007

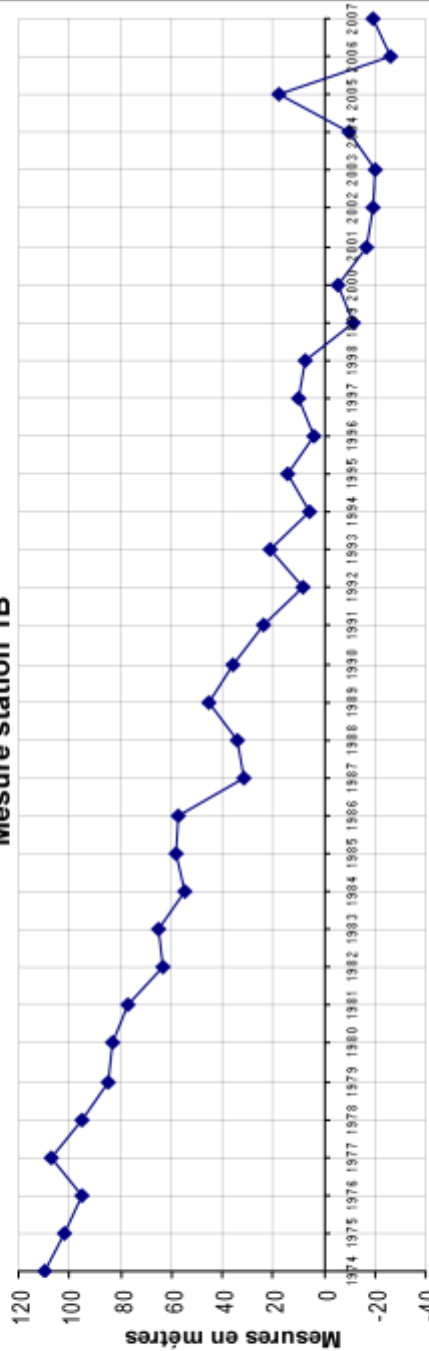
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Suivi de la ligne de côte (+2m)

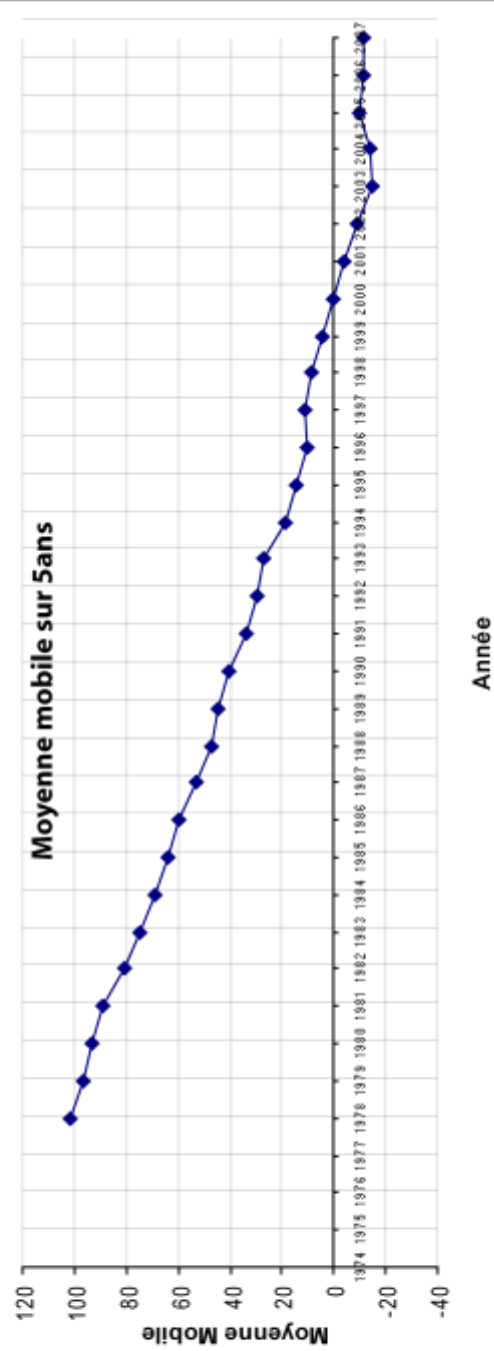
ZONE A		
Nom Profil	Point Origine	
1	1B	

Année	Côte table	Ecartan	Moy Mob
1974	110		
1975	102	-8	
1976	95	-7	
1977	107	12	
1978	95	-12	101.8
1979	85	-10	96.8
1980	83	-2	93
1981	77	-6	89.4
1982	63	-14	80.6
1983	65	2	74.6
1984	55	-10	68.6
1985	58	3	63.6
1986	57	-1	59.6
1987	31	-26	53.2
1988	34	3	47
1989	45	11	45
1990	36	-9	40.6
1991	24	-12	34
1992	8	-16	29.4
1993	21	13	26.8
1994	6	-15	19
1995	14	8	14.6
1996	4	-10	10.6
1997	10	6	11
1998	7	-3	8.2
1999	-12	-19	4.6
2000	-6	6	0.6
2001	-17	-11	-3.6
2002	-19	-2	-9.4
2003	-20	-1	-14.8
2004	-10	10	-14.4
2005	18	28	-9.6
2006	-26	-44	-11.4
2007	-19	7	-11.4

Mesure station 1B



Moyenne mobile sur 5ans



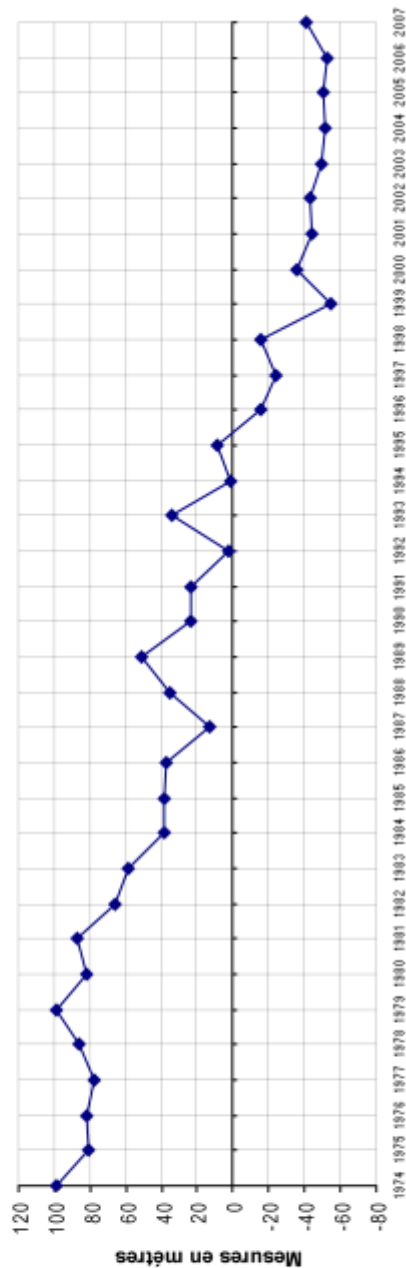
Source: Total Gabon, 2007

Conception et réalisation: MENIE Zephirin

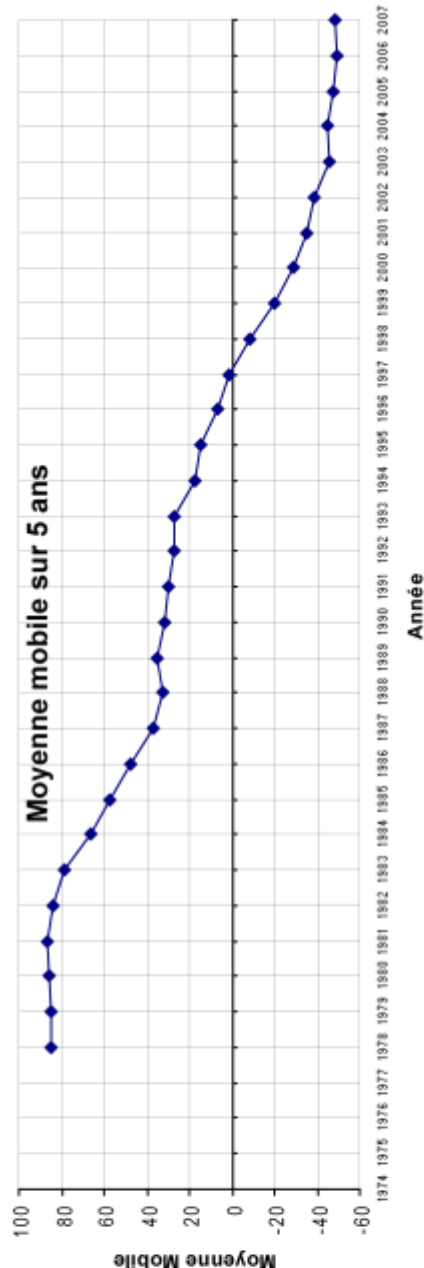
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE B		
Nom Profil	Point Origine	
6 Ter N	6 Ter	

Mesure station 6Ter



Moyenne mobile sur 5 ans



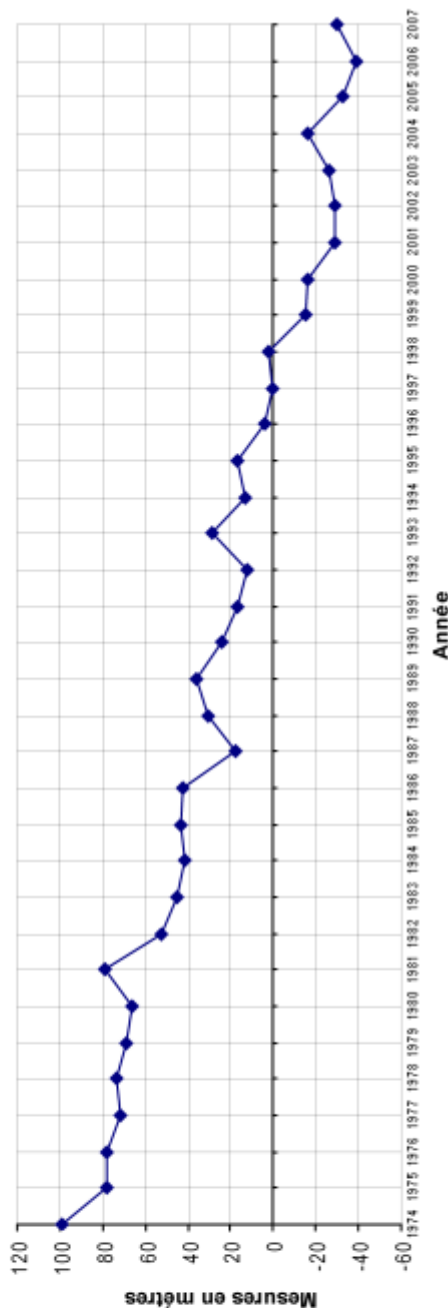
Année	Côte lable	Ecart an	Moy Mob
1974	99	-18	
1975	81	1	
1976	82	-4	
1977	78	8	85.2
1978	86	13	85.2
1979	99	-17	85.4
1980	82	5	86.4
1981	87	-21	84
1982	66	-7	78.6
1983	59	-21	66.4
1984	38	0	57.6
1985	38	-1	47.6
1986	37	-24	37
1987	13	22	32.2
1988	35	16	34.8
1989	51	-27	32
1990	24	0	29.4
1991	24	-21	27.4
1992	3	31	27.2
1993	34	-32	17.4
1994	2	7	14.4
1995	9	-24	6.6
1996	-15	-9	1.2
1997	-24	9	-8.6
1998	-15	-40	-20
1999	-55	19	-34.8
2000	-36	-8	-38.6
2001	-44	-6	-45.4
2002	-43	-2	-44.6
2003	-49	1	-47.4
2004	-51	-3	-49.2
2005	-50	12	-48.8
2006	-53		
2007	-41		

Source: Total Gabon, 2007

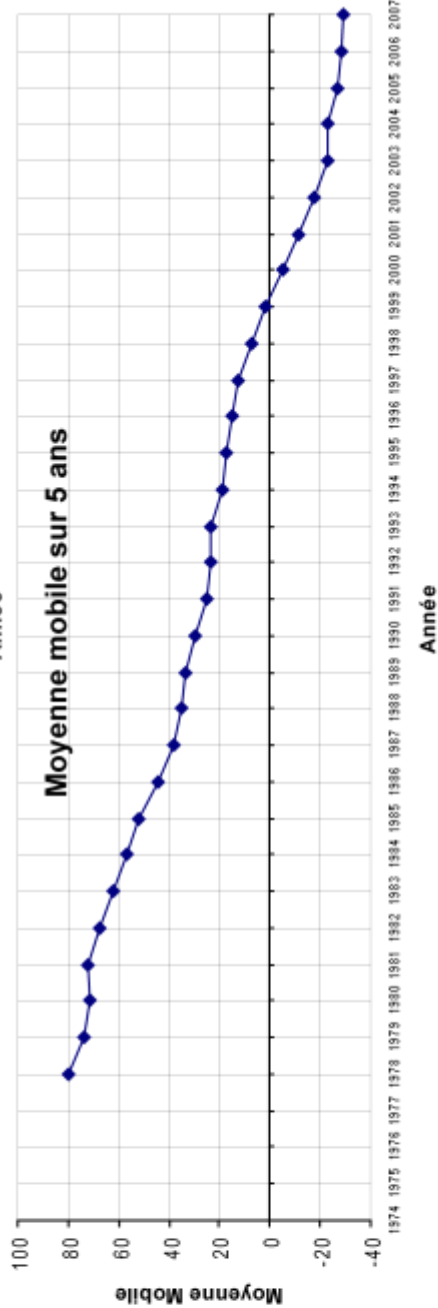
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Suivi de la ligne de côte (+2m)

Mesure station 6Ter



Moyenne mobile sur 5 ans



ZONE B		
Nom Profil	Point Origine	
6 Ter NW	6 Ter	

Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	99		
1975	78	-21	
1976	78	0	
1977	72	-6	
1978	73	1	80
1979	69	-4	74
1980	66	-3	71.6
1981	79	13	71.8
1982	52	-27	67.8
1983	45	-7	62.2
1984	41	-4	56.6
1985	43	2	52
1986	42	-1	44.6
1987	18	-24	37.8
1988	30	12	34.8
1989	36	6	33.8
1990	24	-12	30
1991	17	-7	25
1992	12	-5	23.8
1993	29	17	23.6
1994	13	-16	19
1995	17	4	17.6
1996	4	-13	15
1997	0	-4	12.6
1998	2	2	7.2
1999	-15	-17	1.6
2000	-16	-1	-5
2001	-29	-13	-11.6
2002	-28	0	-17.4
2003	-26	3	-23
2004	-16	10	-23.2
2005	-33	-17	-26.6
2006	-39	-6	-28.6
2007	-30	9	-28.8

Source: Total Gabon, 2007

Conception et réalisation: MENIE Zephirin

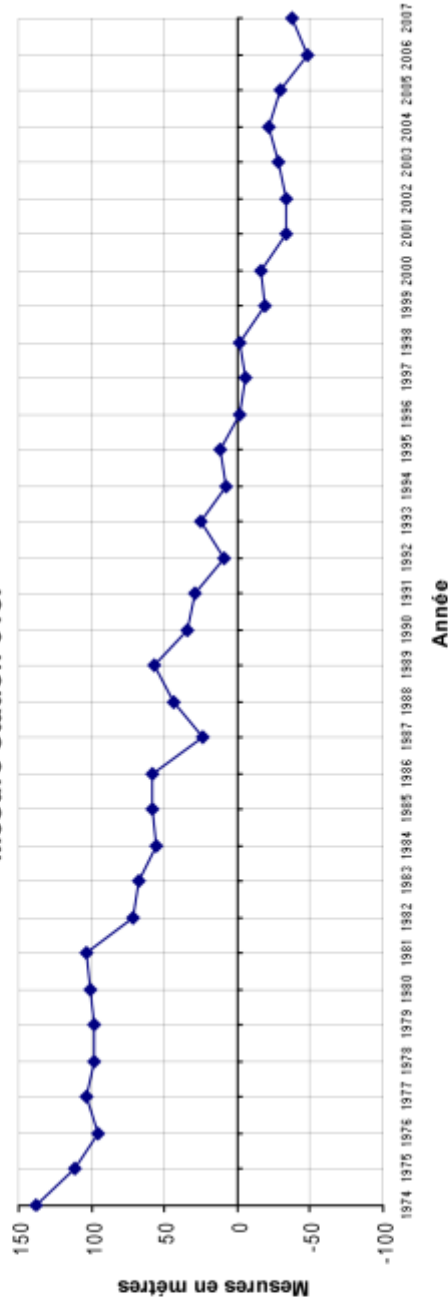
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE B		
Nom Profil	Point Origine	
6 Ter W	6 Ter	

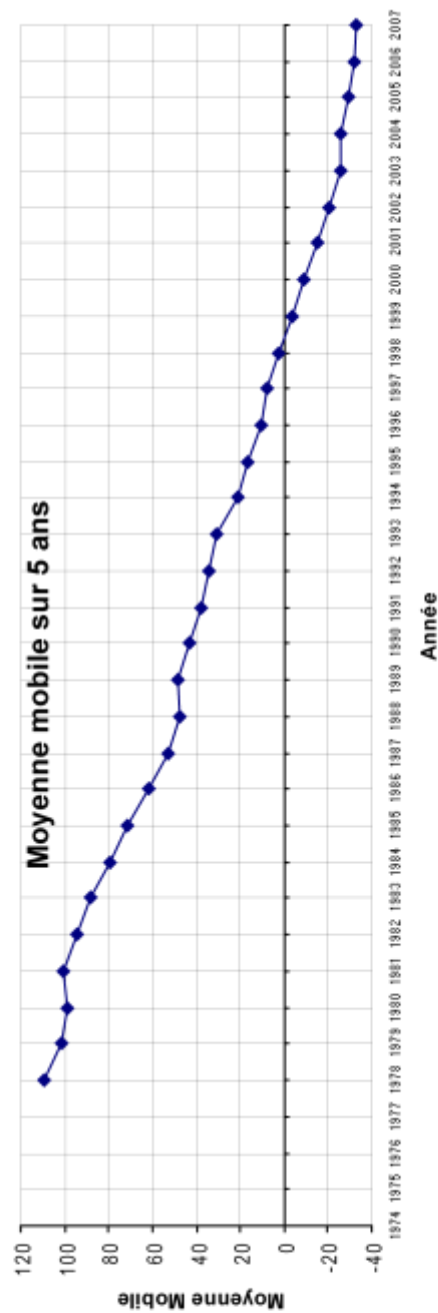
Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	138		
1975	112	-26	
1976	96	-16	
1977	103	7	
1978	98	-5	109.4
1979	98	0	101.4
1980	101	3	99.2
1981	104	3	100.8
1982	71	-33	94.4
1983	67	-4	88.2
1984	55	-12	79.5
1985	58	3	71
1986	58	0	61.8
1987	24	-34	52.4
1988	44	20	47.8
1989	57	13	48.2
1990	34	-23	43.4
1991	29	-5	37.6
1992	9	-20	34.6
1993	25	16	30.8
1994	8	-17	21
1995	12	4	16.6
1996	-2	-14	10.4
1997	-6	-4	7.4
1998	-2	4	2
1999	-19	-17	-3.4
2000	-16	3	-9
2001	-33	-17	-15.2
2002	-33	0	-20.6
2003	-28	5	-25.8
2004	-21	7	-26.2
2005	-30	-9	-29
2006	-48	-18	-32
2007	-37	11	-32.8

Source: Total Gabon, 2007

Mesure station 6Ter



Moyenne mobile sur 5 ans



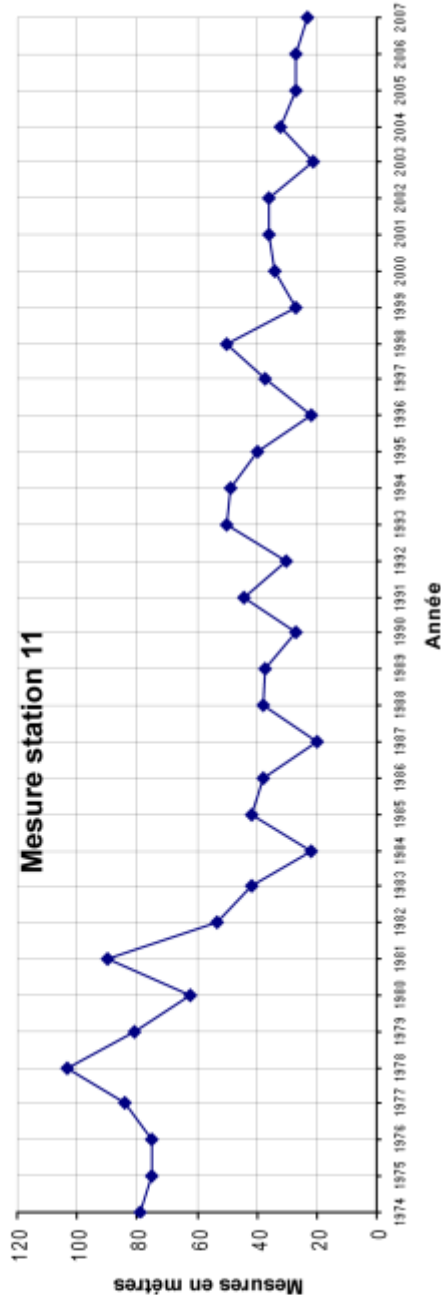
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Annexe 14 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 6TerW

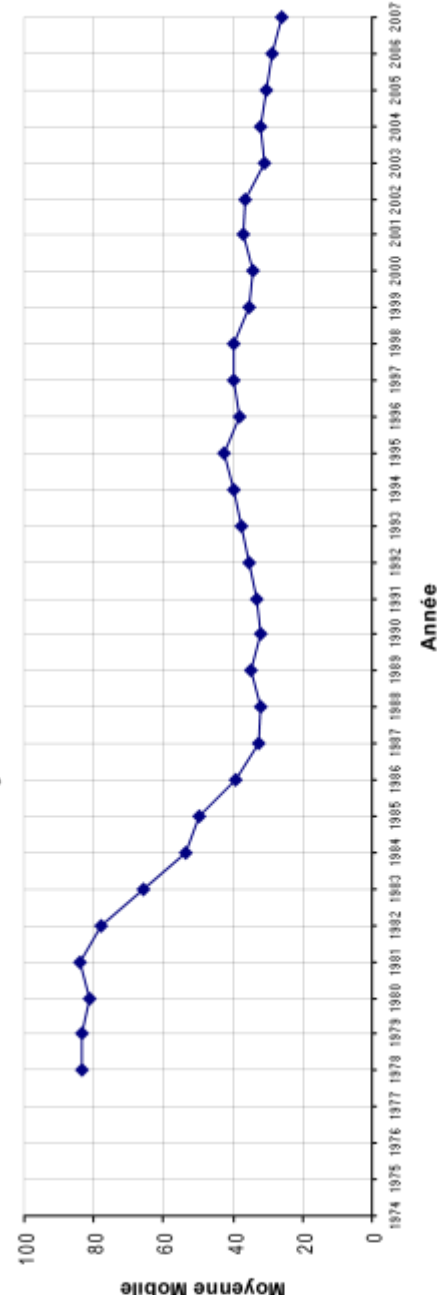
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE B		
Nom Profil	Point Origine	
11 B	11	

Année	Côte lable	Ecart an	Moy Mob
1974	79		
1975	75	-4	
1976	75	0	
1977	84	9	
1978	103	19	83.2
1979	81	-22	83.6
1980	62	-19	81
1981	90	28	84
1982	53	-37	77.8
1983	42	-11	65.6
1984	22	-20	53.8
1985	42	20	49.8
1986	38	-4	39.4
1987	20	-18	32.8
1988	38	18	32
1989	37	-1	35
1990	27	-10	32
1991	44	17	33.2
1992	30	-14	35.2
1993	50	20	37.6
1994	49	-1	40
1995	40	-9	42.6
1996	22	-18	38.2
1997	37	15	39.6
1998	50	13	39.6
1999	27	-23	35.2
2000	34	7	34
2001	36	2	36.8
2002	36	0	36.6
2003	21	-15	30.8
2004	32	11	31.8
2005	27	-5	30.4
2006	27	0	28.6
2007	23	-4	26



Moyenne mobile sur 5 ans



Source: Total Gabon, 2007

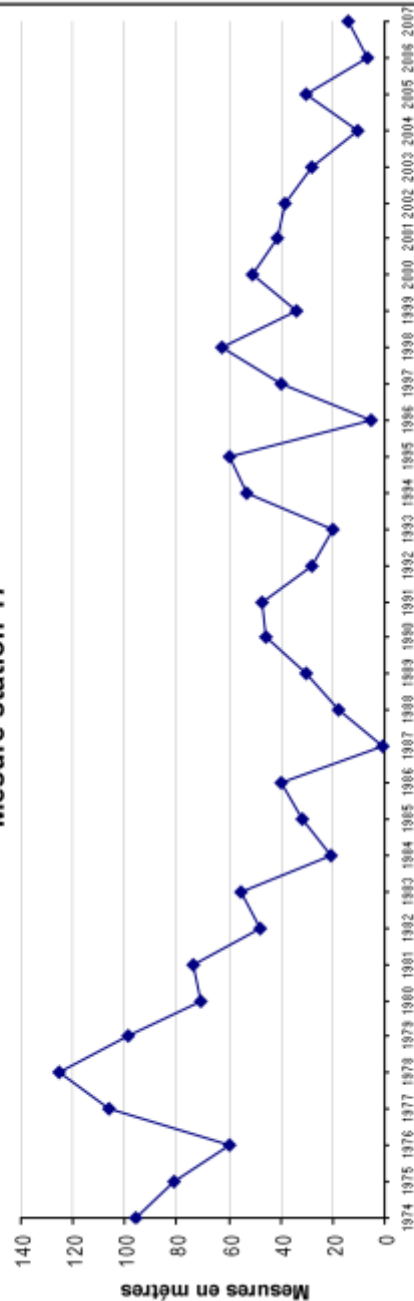
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Suivi de la ligne de côte (+2m)

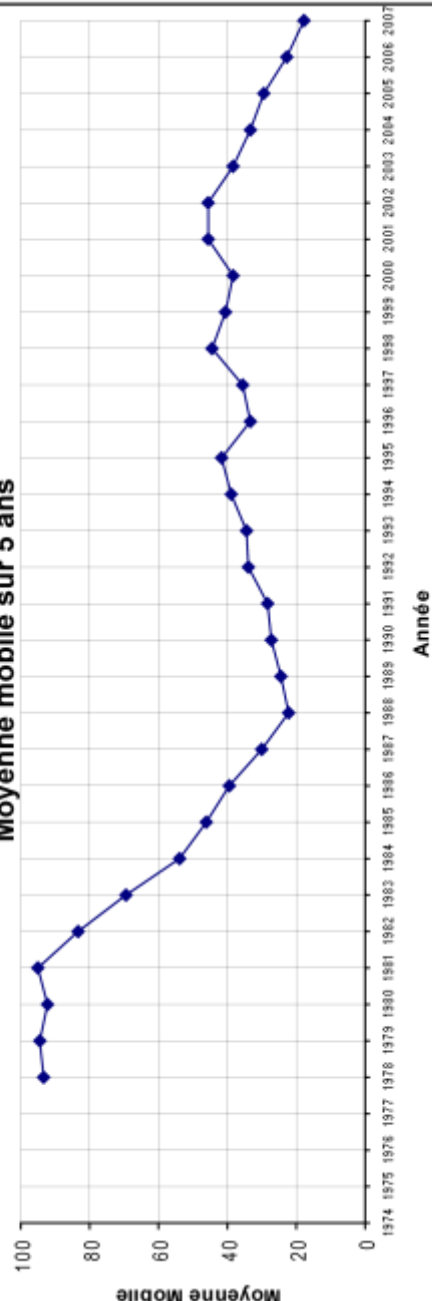
ZONE B		
Nom Profil	Point Origine	
17 B	17	

Année	Côte table	Ecart an	Mov Mob
1974	96		
1975	81	-15	
1976	60	-21	
1977	106	46	
1978	125	19	93.6
1979	99	-26	94.2
1980	71	-28	92.2
1981	74	3	95
1982	48	-26	83.4
1983	55	7	69.4
1984	21	-34	53.8
1985	32	11	46
1986	40	8	39.2
1987	1	-39	29.8
1988	18	17	22.4
1989	30	12	24.2
1990	46	16	27
1991	47	1	28.4
1992	28	-19	33.8
1993	20	-8	34.2
1994	53	33	38.8
1995	60	7	41.6
1996	5	-55	33.2
1997	40	35	35.6
1998	63	23	44.2
1999	34	-29	40.4
2000	51	17	38.6
2001	41	-10	45.8
2002	38	-3	45.4
2003	28	-10	38.4
2004	10	-18	33.6
2005	30	20	29.4
2006	7	-23	22.6
2007	14	7	17.8

Mesure station 17



Moyenne mobile sur 5 ans



Source: Total Gabon, 2007

Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Annexe 16 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 17

"Zone C, D, E, G"

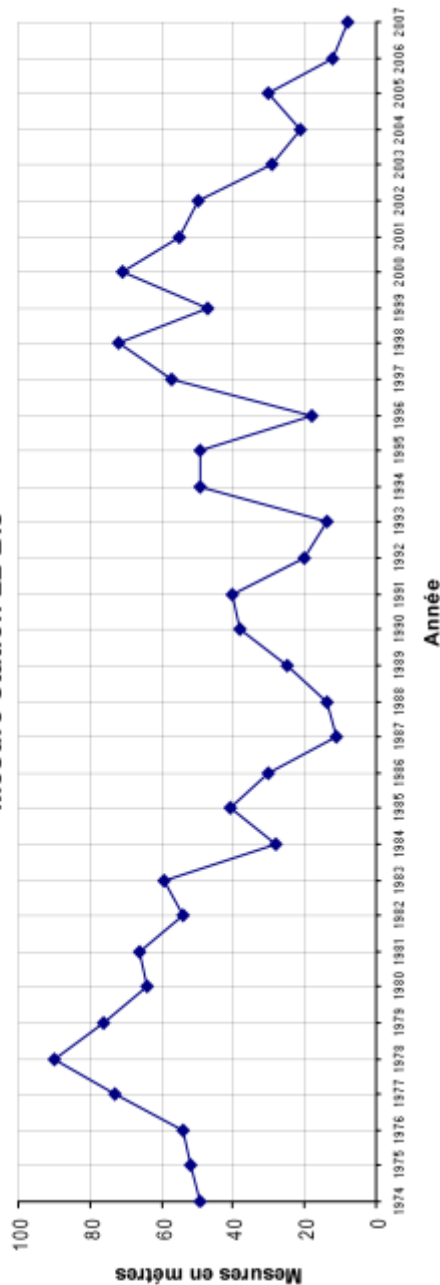
Profils 22, 25, IV A, VA, 42, 44, 6, 49, 60, 2, 56, VIII, 68, 71.1, 71.2, 71.3, 71.4, 71.5, 71.6



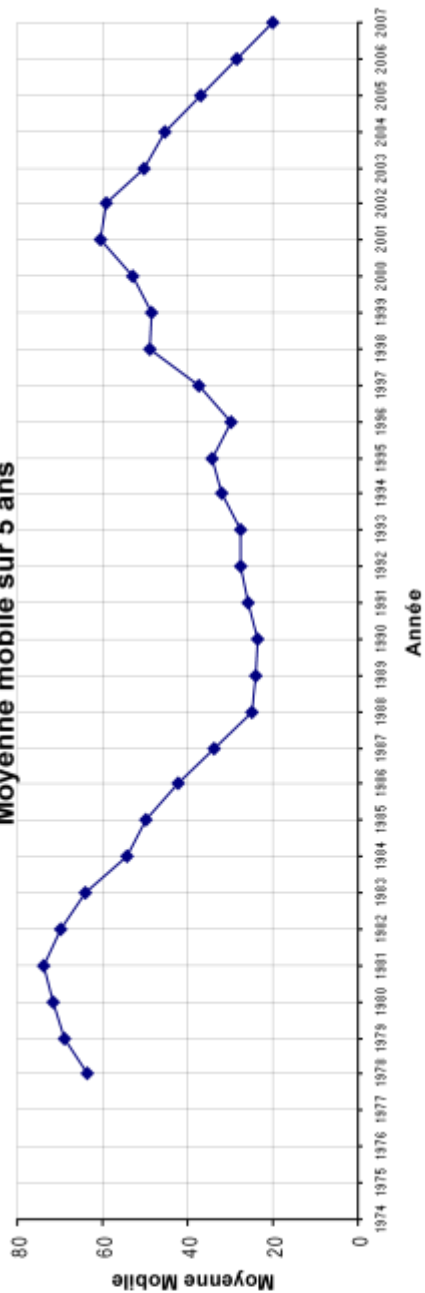
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE C	
Nom Profil	Point Origine
22	22 Bis

Mesure station 22 Bis



Moyenne mobile sur 5 ans



Année	Côte table	Ecart an	Mov Mob
1974	49		
1975	52	3	
1976	54	2	
1977	73	19	
1978	90	17	63.6
1979	76	-14	69
1980	64	-12	71.4
1981	66	2	73.8
1982	54	-12	70
1983	59	5	63.8
1984	28	-31	54.2
1985	41	13	49.6
1986	30	-11	42.4
1987	11	-19	33.8
1988	14	3	24.8
1989	25	11	24.2
1990	38	13	23.6
1991	40	2	25.6
1992	20	-20	27.4
1993	14	-6	27.4
1994	49	35	32.2
1995	49	0	34.4
1996	18	-31	30
1997	57	39	37.4
1998	72	15	49
1999	47	-25	48.6
2000	71	24	53
2001	55	-16	60.4
2002	50	-5	59
2003	29	-21	50.4
2004	21	-8	45.2
2005	30	9	37
2006	12	-18	28.4
2007	8	-4	20

Source: Total Gabon, 2007

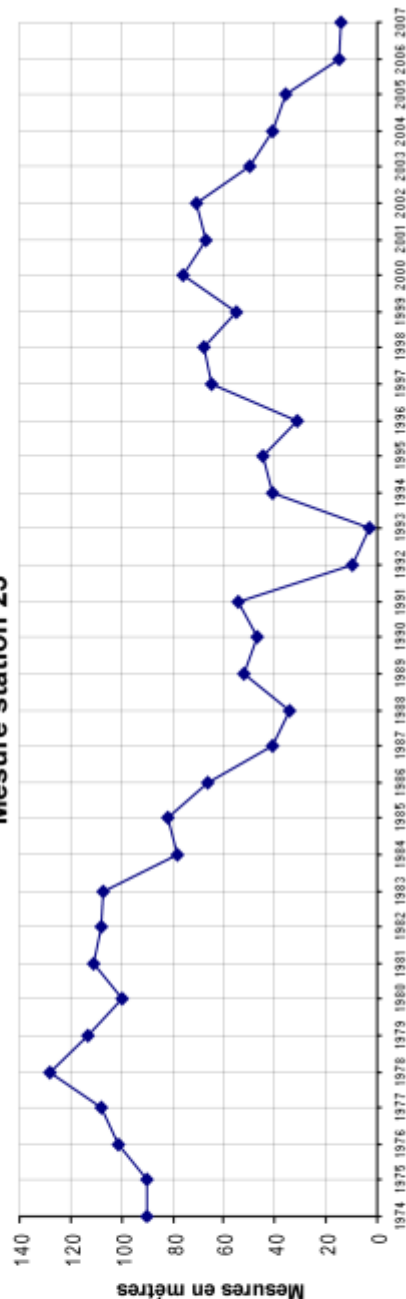
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE C		
Nom Profil	Point Origine	
25	25	

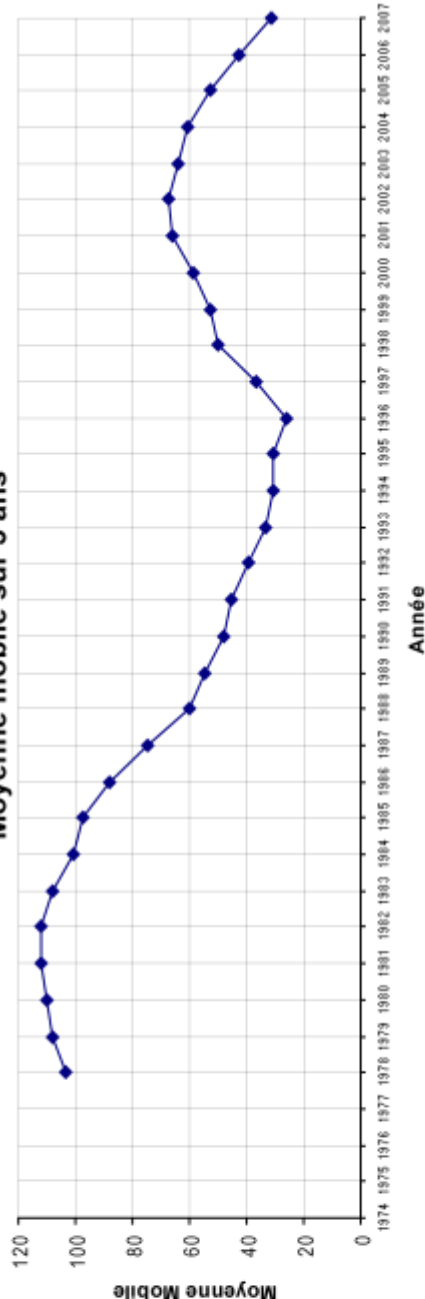
Année	Côte table	Ecart/an	Max Mob
1974	90		
1975	90	0	
1976	101	11	
1977	108	7	
1978	128	20	103.4
1979	113	-15	108
1980	100	-13	110
1981	111	11	112
1982	108	-3	112
1983	107	-1	107.8
1984	78	-29	100.8
1985	82	4	97.2
1986	66	-16	88.2
1987	41	-25	74.8
1988	34	-7	60.2
1989	52	18	55
1990	47	-5	48
1991	54	7	45.6
1992	10	-44	39.4
1993	3	-7	33.2
1994	41	38	31
1995	45	4	30.6
1996	31	-14	26
1997	65	34	37
1998	68	3	50
1999	55	-13	52.8
2000	76	21	59
2001	67	-9	66.2
2002	71	4	67.4
2003	50	-21	63.8
2004	41	-9	61
2005	36	-5	53
2006	15	-21	42.6
2007	14	-1	31.2

Mesure station 25



Année

Moyenne mobile sur 5 ans



Année

Source: Total Gabon, 2007

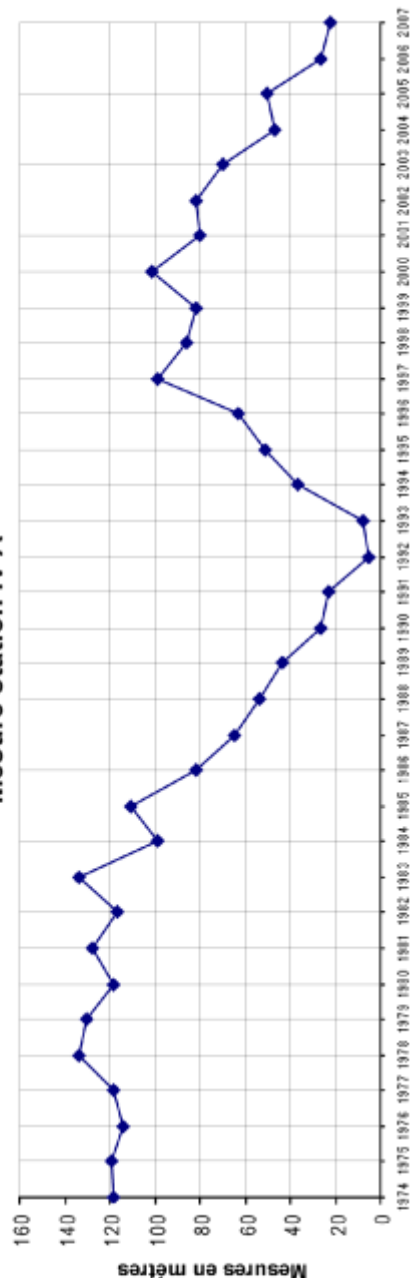
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Suivi de la ligne de côte (+2m)

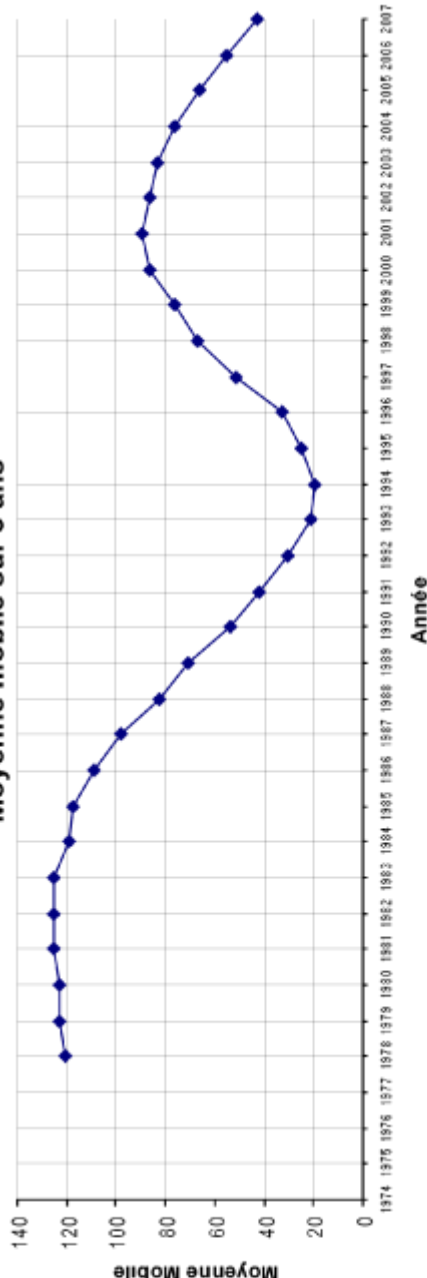
ZONE C		
Nom Profil	Point Origine	
IV	IV A	

Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	118		
1975	119	1	
1976	114	-5	
1977	118	4	
1978	134	16	120.6
1979	130	-4	123
1980	118	-12	122.8
1981	128	10	125.6
1982	117	-11	125.4
1983	134	17	125.4
1984	99	-35	119.2
1985	111	12	117.8
1986	82	-29	105.6
1987	65	-17	98.2
1988	54	-11	82.2
1989	43	-11	71
1990	26	-17	54
1991	23	-3	42.2
1992	5	-18	30.2
1993	8	3	21
1994	37	29	19.8
1995	51	14	24.8
1996	63	12	32.8
1997	99	36	51.6
1998	86	-13	67.2
1999	82	-4	76.2
2000	101	19	86.2
2001	80	-21	89.6
2002	82	2	86.2
2003	70	-12	83
2004	47	-23	76
2005	50	3	65.8
2006	26	-24	55
2007	22	-4	43

Mesure station IV A



Moyenne mobile sur 5 ans



Source: Total Gabon, 2007

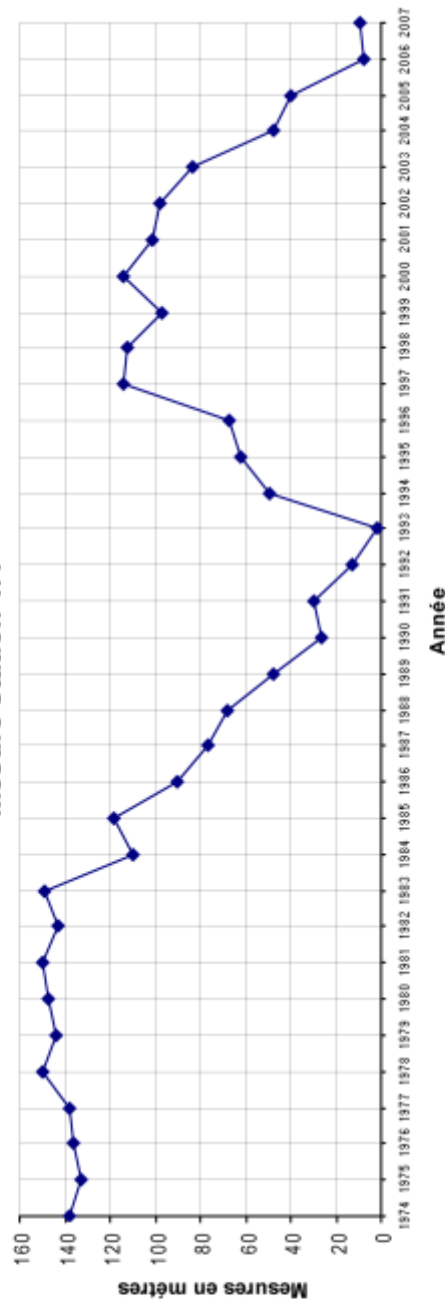
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Annexe 19 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil IV A

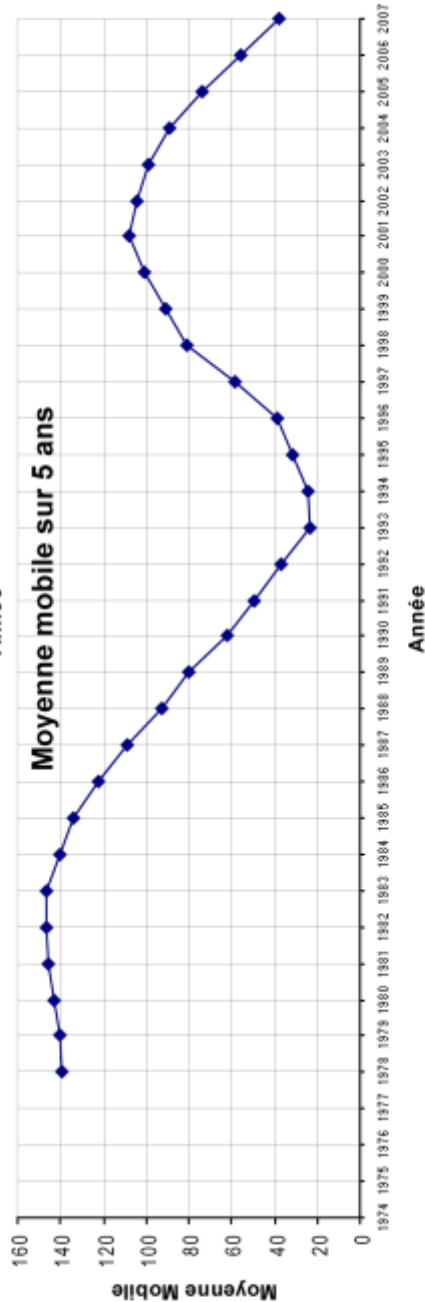
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE C	
Nom Profil VA	Point Origine VA

Mesure station VA



Moyenne mobile sur 5 ans



Année	Côte lable	Ecart an	Moy Mob
1974	138		
1975	133	-5	
1976	136	3	
1977	138	2	
1978	150	12	139
1979	144	-6	140.2
1980	147	3	143
1981	150	3	145.8
1982	143	-7	146.8
1983	149	6	146.6
1984	110	-39	139.8
1985	118	8	134
1986	90	-28	122
1987	77	-13	108.8
1988	68	-9	92.6
1989	48	-20	80.2
1990	26	-22	61.8
1991	30	4	49.8
1992	13	-17	37
1993	2	-11	23.8
1994	49	47	24
1995	62	13	31.2
1996	67	5	38.6
1997	114	47	58.8
1998	112	-2	80.8
1999	97	-15	90.4
2000	114	17	100.8
2001	101	-13	107.6
2002	98	-3	104.4
2003	83	-15	98.6
2004	48	-35	88.8
2005	40	-8	74
2006	8	-32	55.4
2007	9	1	37.6

Source: Total Gabon, 2007

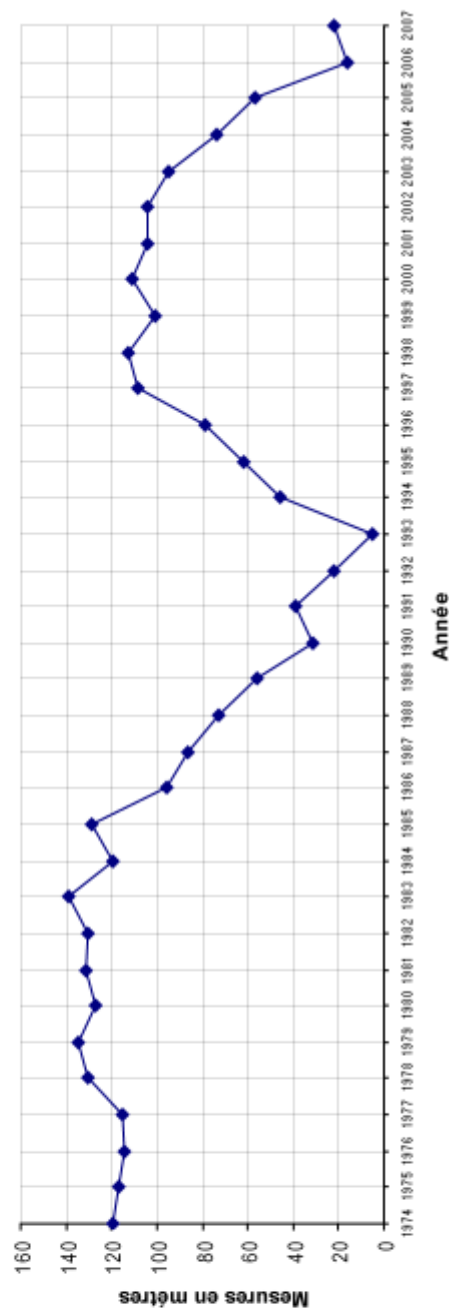
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Annexe 20 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil VA

Suivi de la ligne de côte (+2m)

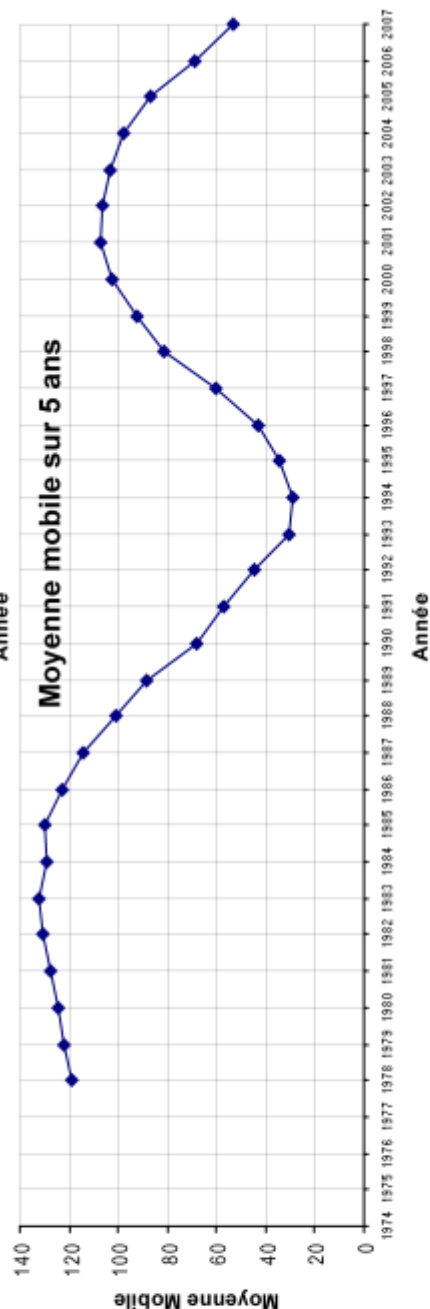
ZONE C	
Nom Profil	Point Origine
42	42 B

Mesure station 42 B



Année

Moyenne mobile sur 5 ans



Année

Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	119		
1975	117	-2	
1976	114	-3	
1977	115	1	
1978	130	15	119
1979	135	5	122.2
1980	127	-8	124.2
1981	131	4	127.6
1982	130	-1	130.6
1983	139	9	132.4
1984	119	-20	129.2
1985	129	10	129.6
1986	96	-33	122.6
1987	86	-10	113.8
1988	73	-13	100.6
1989	56	-17	88
1990	31	-25	58.4
1991	39	8	57
1992	22	-17	44.2
1993	5	-17	30.6
1994	46	41	28.6
1995	62	16	34.8
1996	79	17	42.8
1997	108	29	60
1998	113	5	81.6
1999	101	-12	92.6
2000	111	10	102.4
2001	104	-7	107.4
2002	104	0	106.6
2003	95	-9	103
2004	74	-21	97.6
2005	57	-17	86.8
2006	16	-41	69.2
2007	22	6	52.8

Source: Total Gabon, 2007

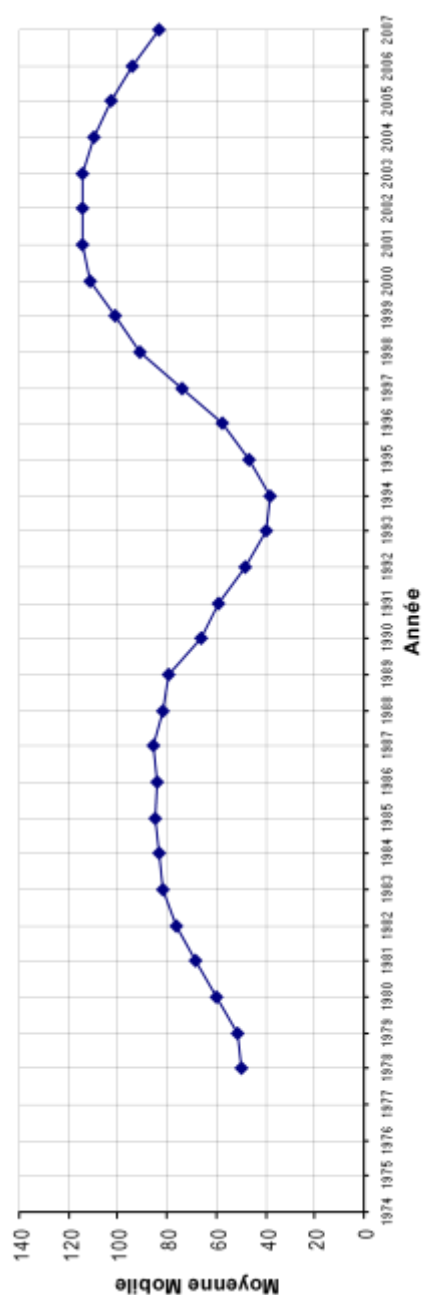
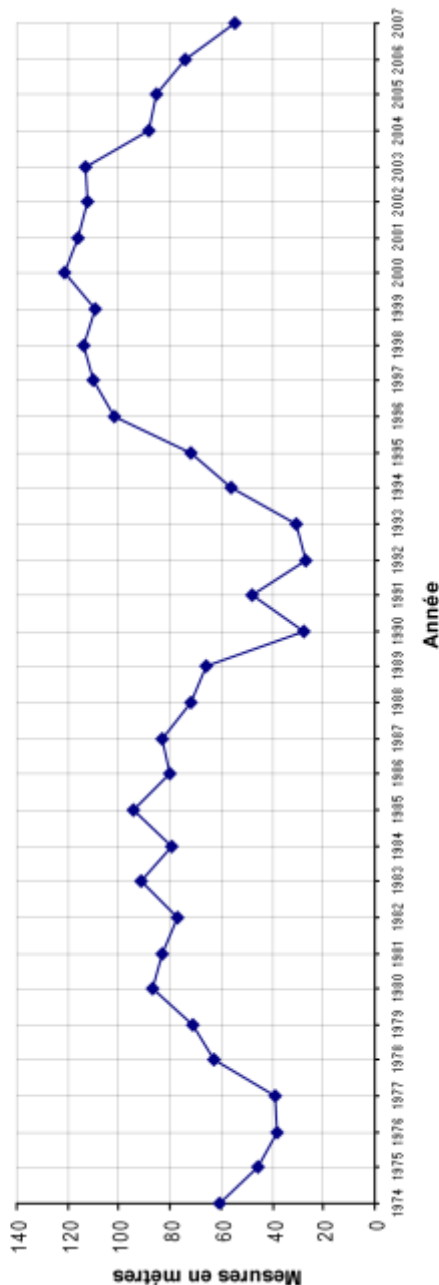
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Annexe 21 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 42 B

Moyenne mobile sur 5 ans Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONED	
Nom Profil	Point Origine
44	44 A

Mesure station 44 A



Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	61		
1975	46	-15	
1976	38	-8	
1977	39	1	
1978	63	24	49.4
1979	71	8	51.4
1980	87	16	59.6
1981	83	-4	68.6
1982	77	-6	76.2
1983	91	14	81.8
1984	79	-12	83.4
1985	94	15	84.8
1986	80	-14	84.2
1987	83	3	85.4
1988	72	-11	81.6
1989	66	-6	79
1990	28	-38	65.8
1991	48	20	59.4
1992	27	-21	48.2
1993	31	4	40
1994	56	25	38
1995	72	16	46.8
1996	102	30	57.6
1997	110	8	74.2
1998	114	4	90.8
1999	109	-5	101.4
2000	121	12	111.2
2001	116	-5	114
2002	112	-4	114.4
2003	113	1	114.2
2004	88	-25	110
2005	85	-3	102.8
2006	74	-11	94.4
2007	55	-19	83

Source: Total Gabon, 2007

Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Annexe 22A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 44 B

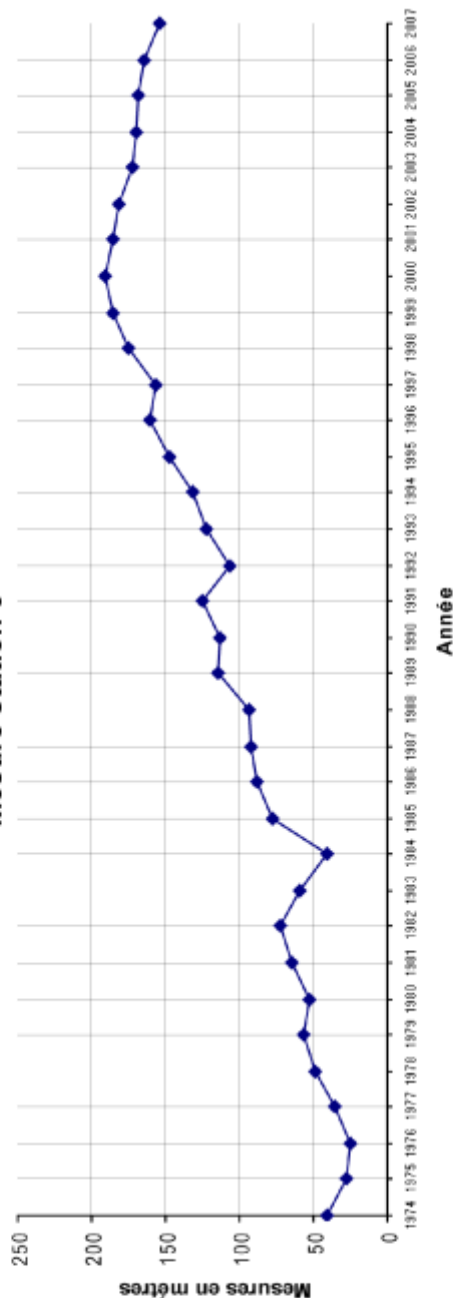
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONED		
Nom Profil	Point Origine	
6	6	

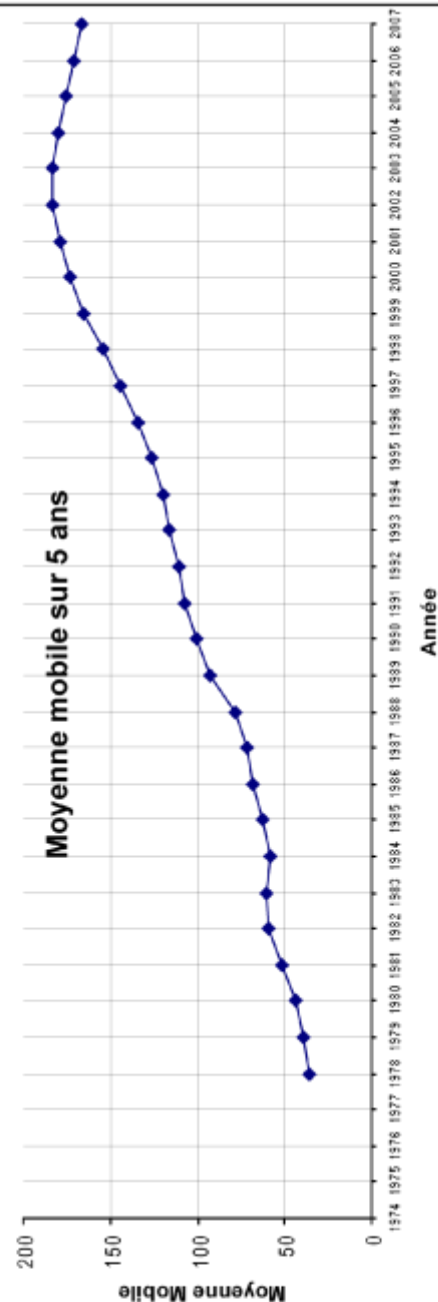
Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	41		
1975	27	-14	
1976	25	-2	
1977	36	11	
1978	49	13	35,6
1979	57	8	38,8
1980	52	-5	43,8
1981	64	12	51,6
1982	72	8	58,8
1983	59	-13	60,8
1984	41	-18	57,6
1985	78	37	62,8
1986	88	10	67,6
1987	92	4	71,6
1988	93	1	78,4
1989	115	22	93,2
1990	113	-2	100,2
1991	125	12	107,6
1992	106	-19	110,4
1993	123	17	116,4
1994	132	9	119,8
1995	148	16	126,8
1996	160	12	133,8
1997	157	-3	144
1998	175	18	154,4
1999	185	10	165
2000	191	6	173,6
2001	186	-5	178,8
2002	181	-5	183,6
2003	172	-9	183
2004	170	-2	180
2005	169	-1	175,6
2006	165	-4	171,4
2007	154	-11	166

Source: Total Gabon, 2007

Mesure station 6



Moyenne mobile sur 5 ans



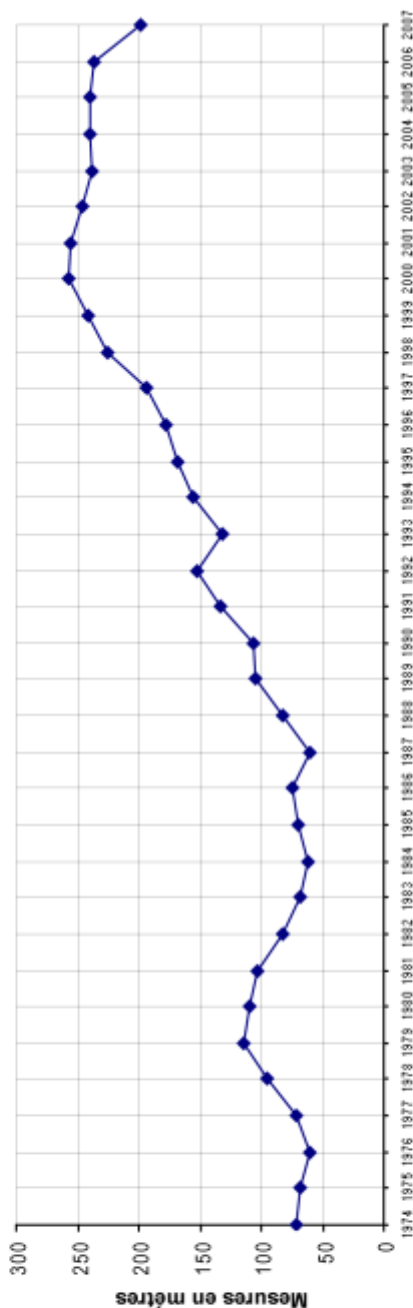
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONEE		
Nom Profil	Point Origine	
49	49	

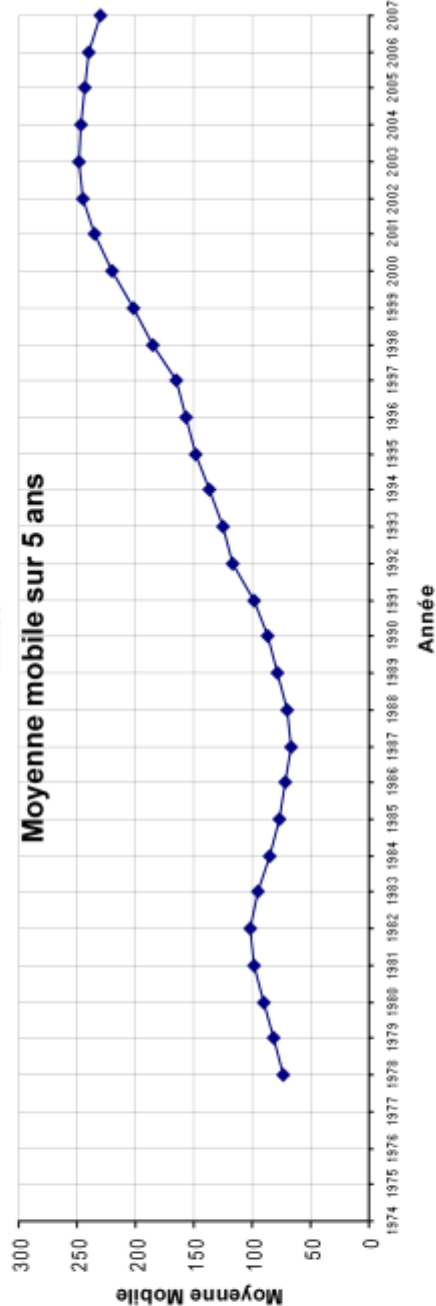
Année	Côte table	Ecartan	Moy Mob
1974	72		
1975	68	-4	
1976	60	-8	
1977	71	11	
1978	96	25	73.4
1979	115	19	82
1980	109	-6	90.2
1981	103	-6	98.8
1982	82	-21	101
1983	68	-14	95.4
1984	62	-6	84.8
1985	70	8	77
1986	75	5	71.4
1987	61	-14	67.2
1988	83	22	70.2
1989	104	21	78.6
1990	107	3	86
1991	134	27	97.8
1992	152	18	116
1993	132	-20	125.8
1994	155	23	136
1995	168	13	148.2
1996	178	10	157
1997	194	16	165.4
1998	226	32	184.2
1999	242	16	201.6
2000	257	15	219.4
2001	256	-1	235
2002	246	-10	245.4
2003	238	-8	247.8
2004	239	1	247.2
2005	240	1	243.8
2006	237	-3	240
2007	199	-38	230.6

Source: Total Gabon, 2007

Mesure station 49



Moyenne mobile sur 5 ans



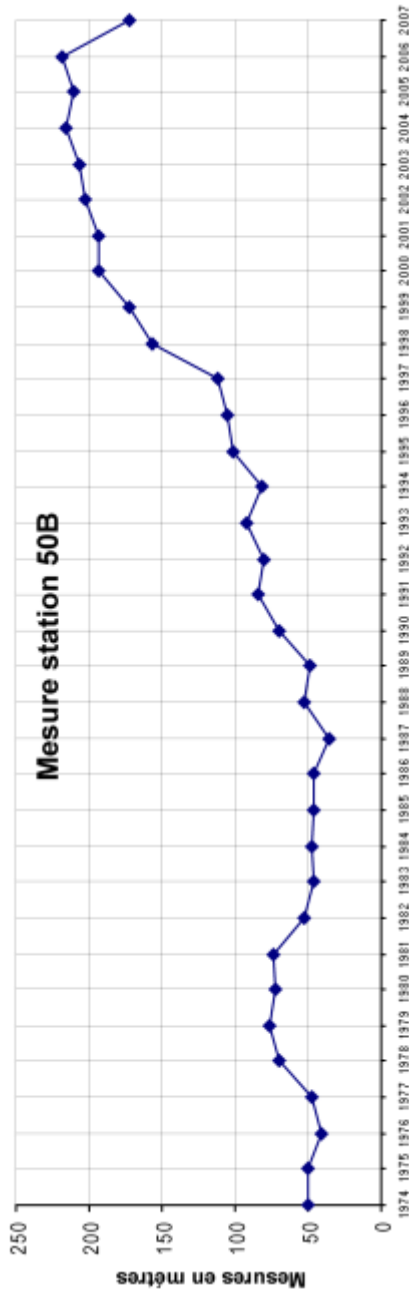
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE E		
Nom Profil	Point Origine	
50	50B	

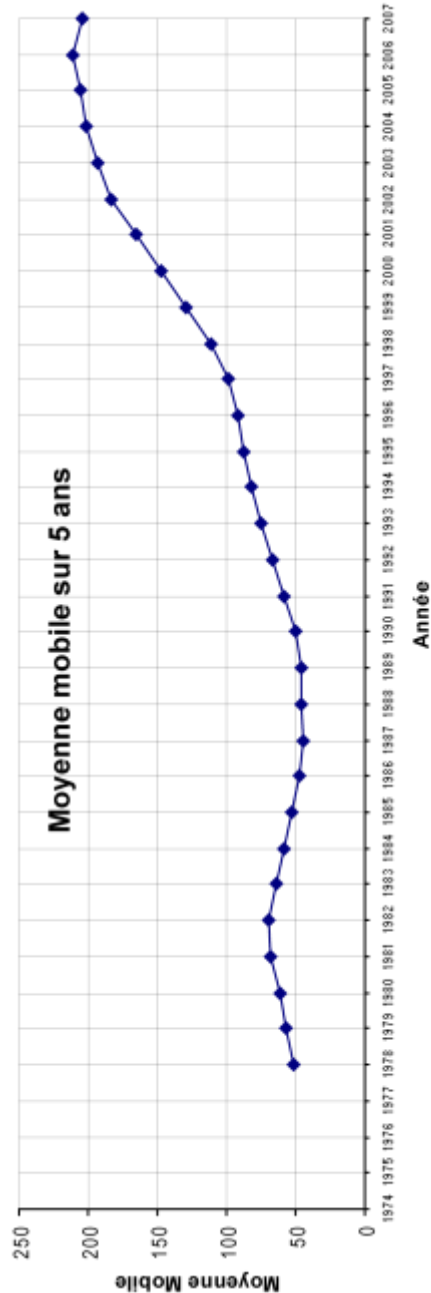
Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	50		
1975	50	0	
1976	41	-9	
1977	48	7	
1978	70	22	51.8
1979	76	6	57
1980	72	-4	61.4
1981	74	2	68
1982	53	-21	69
1983	46	-7	64.2
1984	47	1	58.4
1985	46	-1	53.2
1986	46	0	47.6
1987	36	-10	44.2
1988	52	16	45.4
1989	49	-3	45.8
1990	70	21	50.6
1991	84	14	58.2
1992	80	-4	67
1993	92	12	75
1994	82	-10	81.6
1995	101	19	87.8
1996	105	4	92
1997	112	7	98.4
1998	156	44	111.2
1999	173	17	129.4
2000	193	20	147.8
2001	193	0	165.4
2002	202	9	183.4
2003	206	4	193.4
2004	216	10	202
2005	211	-5	205.6
2006	218	7	210.6
2007	172	-46	204.6

Source: Total Gabon, 2007

Mesure station 50B



Moyenne mobile sur 5 ans



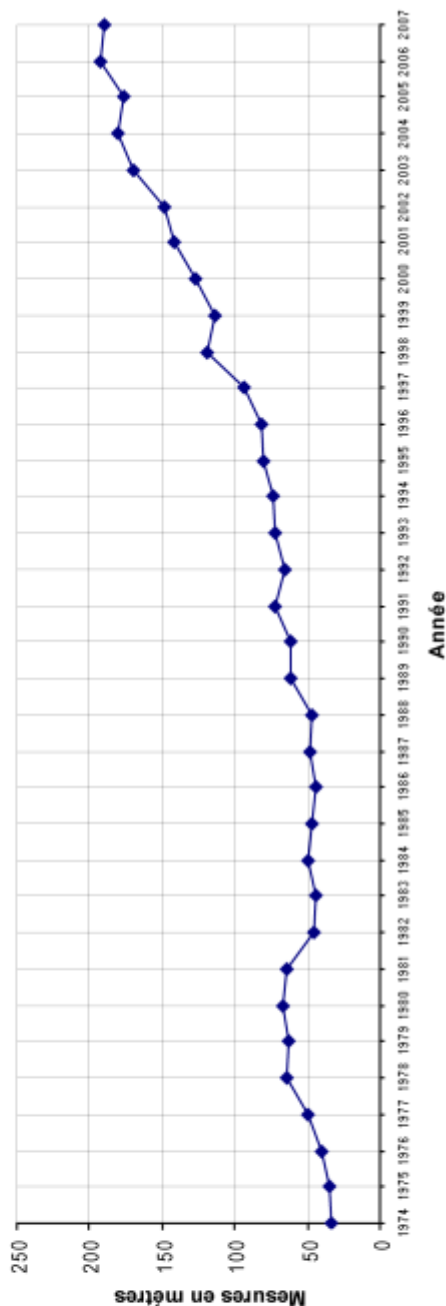
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE E		
Nom Profil	Point Origine	
2	2	

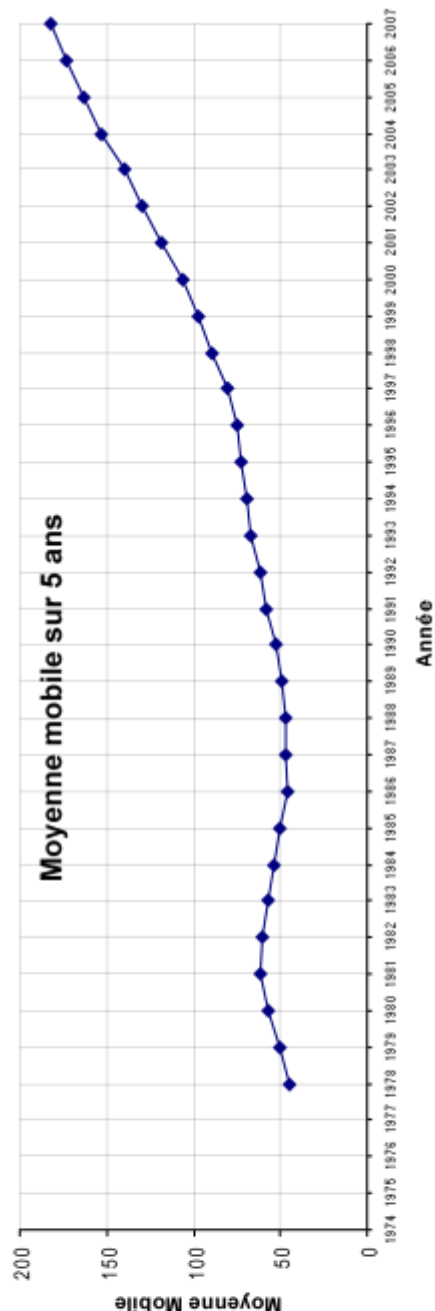
Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	34		
1975	35	1	
1976	40	5	
1977	50	10	
1978	64	14	44.6
1979	63	-1	50.4
1980	67	4	56.8
1981	64	-3	61.6
1982	45	-19	60.6
1983	44	-1	56.6
1984	49	5	53.8
1985	47	-2	49.8
1986	44	-3	45.8
1987	48	4	46.4
1988	47	-1	47
1989	61	14	49.4
1990	62	1	52.4
1991	72	10	58
1992	66	-6	61.6
1993	72	6	66.6
1994	74	2	69.2
1995	80	6	72.8
1996	81	1	74.6
1997	93	12	80
1998	119	26	89.4
1999	113	-6	97.2
2000	127	14	106.6
2001	142	15	116.8
2002	148	6	129.8
2003	170	22	140
2004	181	11	153.6
2005	178	-5	163.4
2006	193	17	173.6
2007	190	-3	182

Source: Total Gabon, 2007

Mesure station 2



Moyenne mobile sur 5 ans



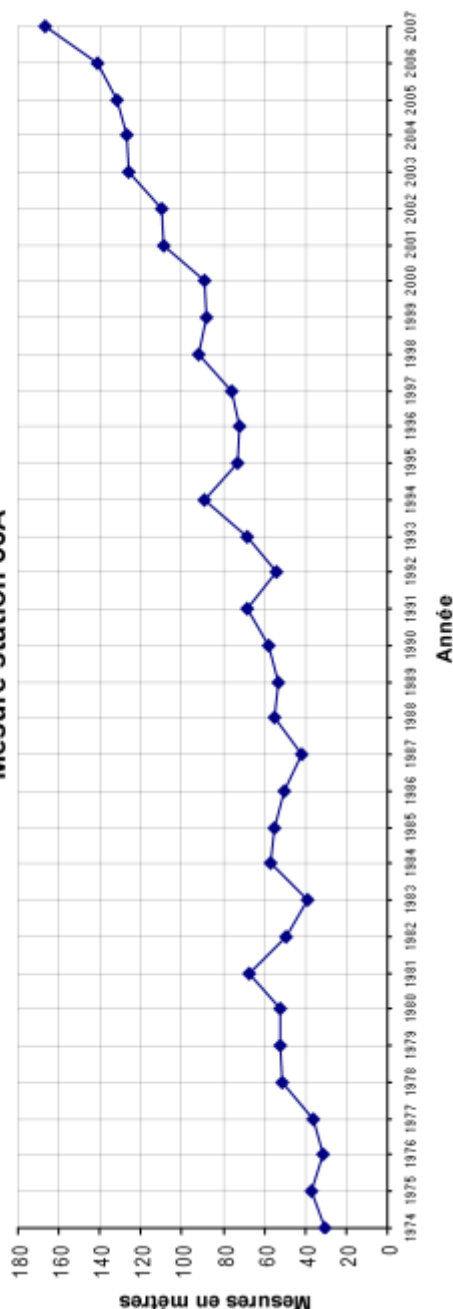
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE E		
Nom Profil	Point Origine	
56	56A	

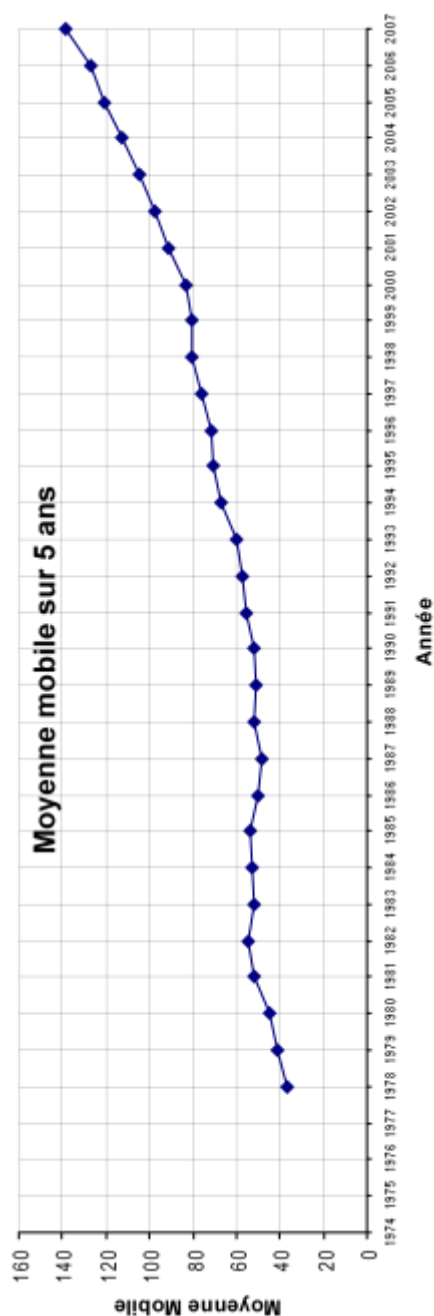
Année	Côte lable	Ecart an	Moy Mob
1974	30		
1975	37	7	
1976	31	-6	
1977	36	5	
1978	51	15	37
1979	52	1	41.4
1980	52	0	44.4
1981	67	15	51.6
1982	49	-18	54.2
1983	39	-10	51.8
1984	57	18	52.8
1985	55	-2	53.4
1986	50	-5	50
1987	42	-8	48.6
1988	55	13	51.8
1989	53	-2	51
1990	58	5	51.6
1991	68	10	55.2
1992	54	-14	57.6
1993	68	14	60.2
1994	89	21	67.4
1995	73	-16	70.4
1996	72	-1	71.2
1997	76	4	75.6
1998	92	16	80.4
1999	88	-4	80.2
2000	89	1	83.4
2001	109	20	90.8
2002	110	1	97.6
2003	126	16	104.4
2004	127	1	112.2
2005	132	5	120.8
2006	141	9	127.2
2007	167	26	138.6

Source: Total Gabon, 2007

Mesure station 56A



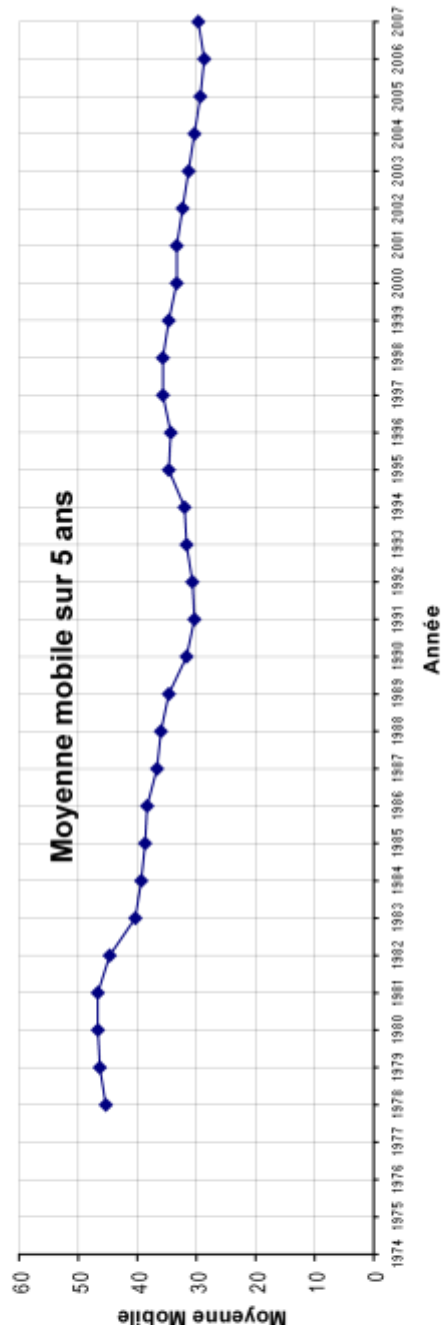
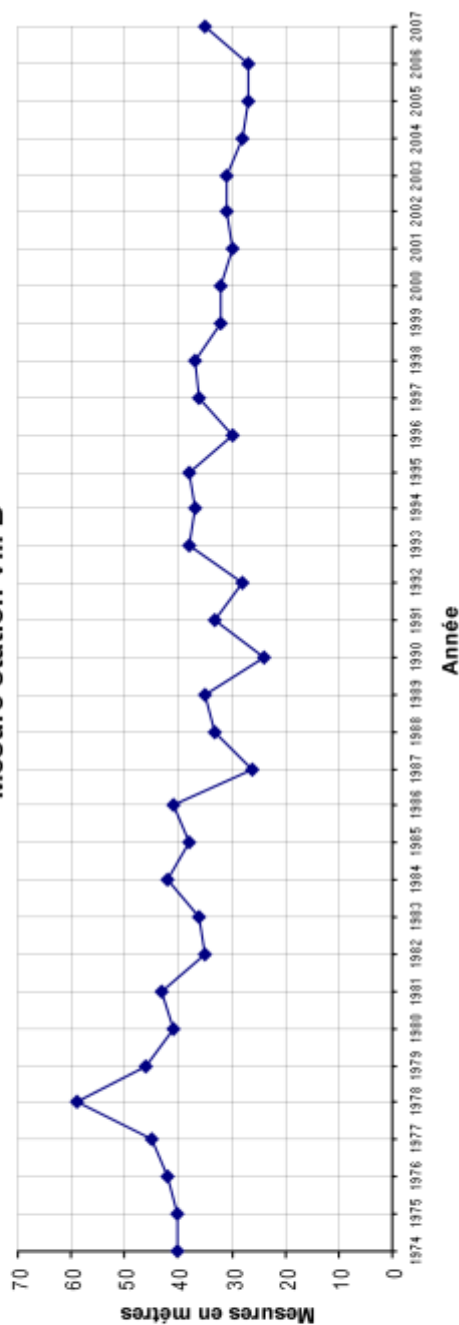
Moyenne mobile sur 5 ans



Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE E	
Nom Profil	Point Origine
VIII	VIII B

Mesure station VIII B



Source: Total Gabon, 2007

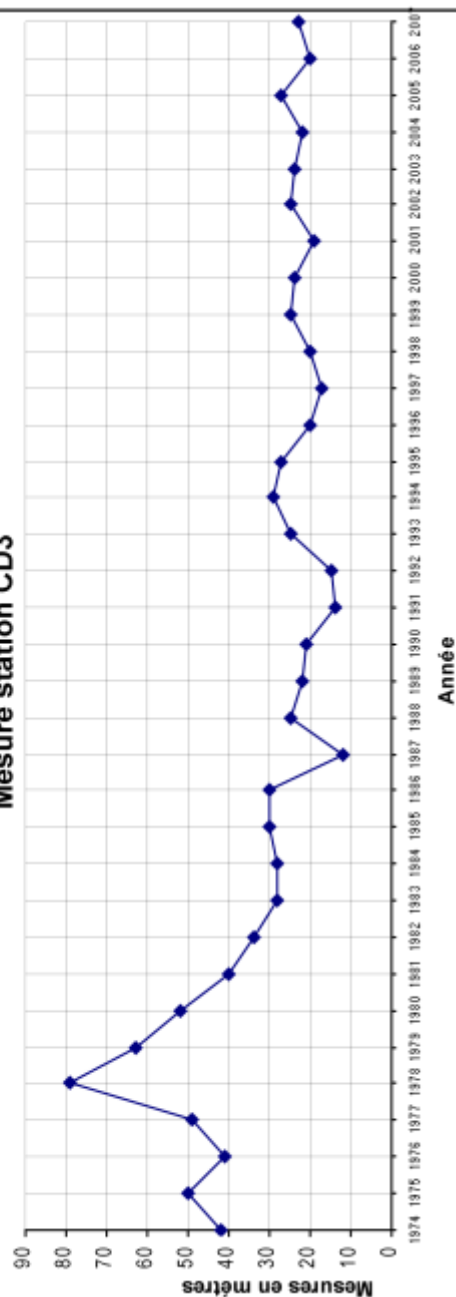
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE F		
Nom Profil CD3	Point Origine CD3	

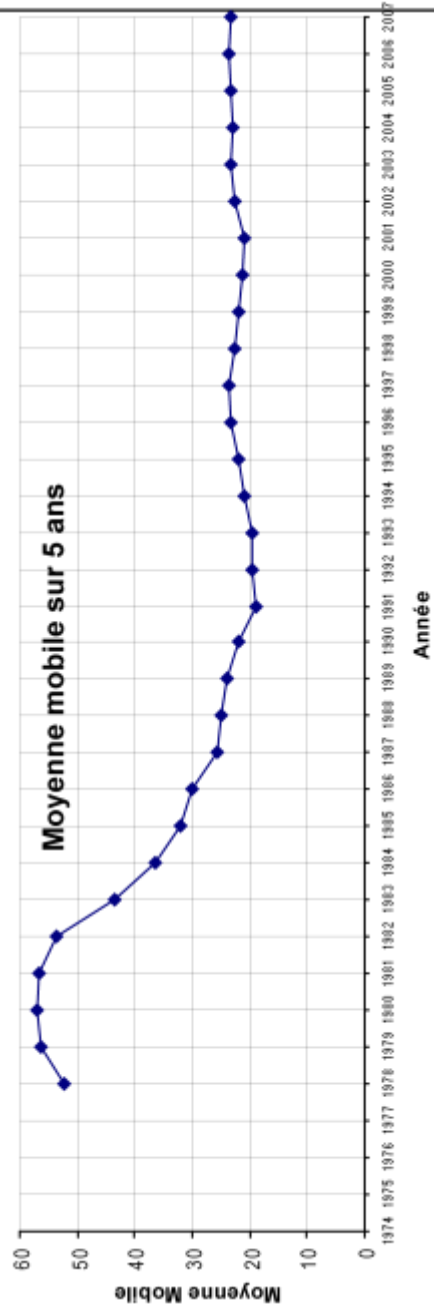
Année	Côte table	Ecart an	Mov Mob
1974	42		
1975	50	8	
1976	41	-9	
1977	49	8	
1978	79	30	52.2
1979	63	-16	56.4
1980	52	-11	56.8
1981	40	-12	56.6
1982	34	-6	53.6
1983	28	-6	43.4
1984	28	0	36.4
1985	30	2	32
1986	30	0	30
1987	12	-18	25.6
1988	25	13	25
1989	22	-3	23.8
1990	21	-1	22
1991	14	-7	18.8
1992	15	1	19.4
1993	25	10	19.4
1994	29	4	20.8
1995	27	-2	22
1996	20	-7	23.2
1997	17	-3	23.6
1998	20	3	22.6
1999	25	5	21.8
2000	24	-1	21.2
2001	19	-5	21
2002	25	6	22.6
2003	24	-1	23.4
2004	22	-2	22.8
2005	27	5	23.4
2006	20	-7	23.6
2007	23	3	23.2

Source: Total Gabon, 2007

Mesure station CD3



Moyenne mobile sur 5 ans



Conception et réalisation: MENIE Zephirin

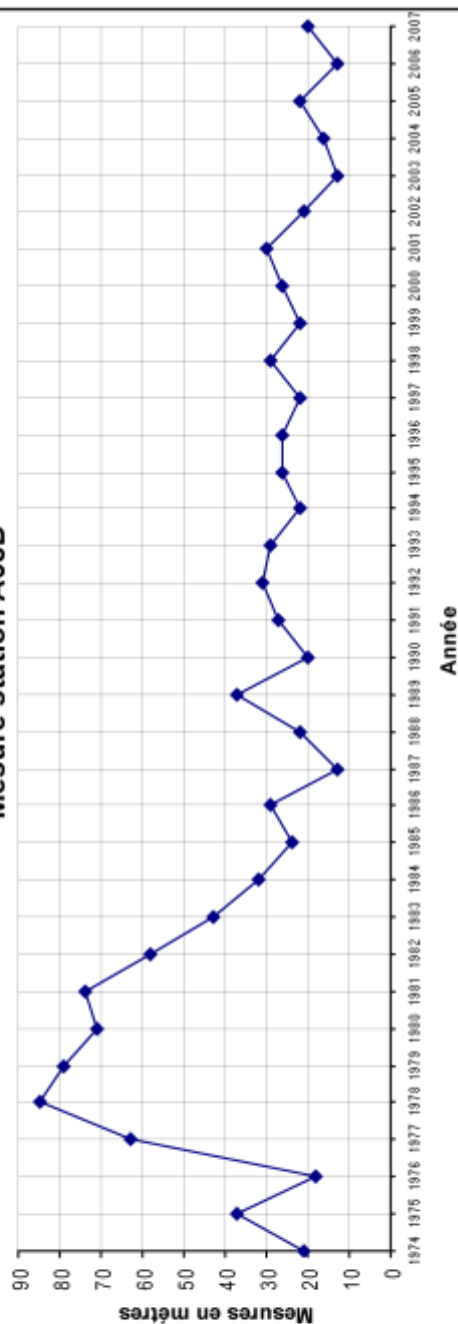
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE E	
Nom Profil A68	Point Origine A68D

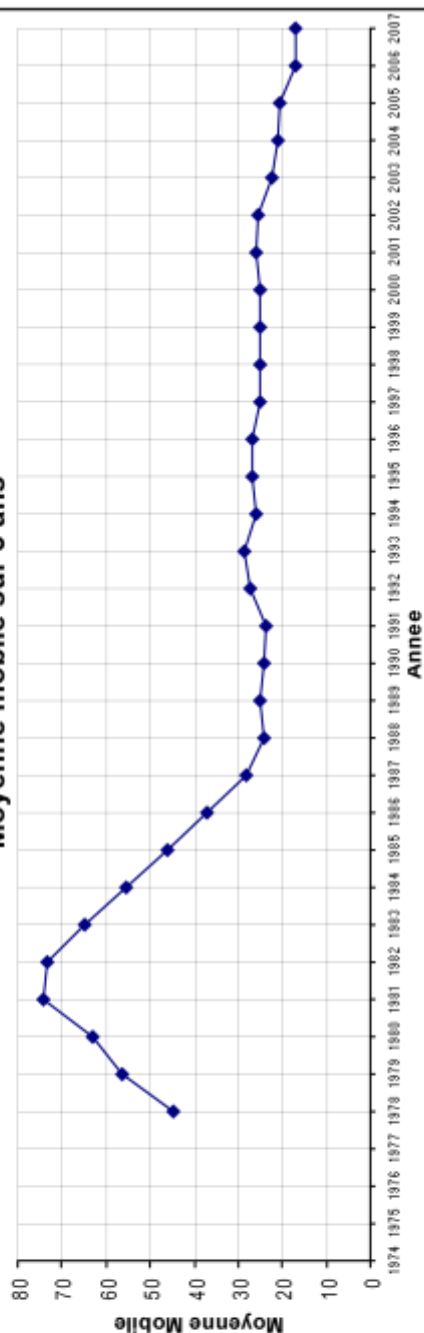
Année	Côte lable	Ecart an	Moy Mob
1974	21		
1975	37	16	
1976	18	-19	
1977	63	45	
1978	85	22	44.8
1979	79	-6	56.4
1980	71	-8	63.2
1981	74	3	74.4
1982	58	-16	73.4
1983	43	-15	65
1984	32	-11	55.6
1985	24	-8	46.2
1986	29	5	37.2
1987	13	-16	28.2
1988	22	9	24
1989	37	15	25
1990	20	-17	24.2
1991	27	7	23.8
1992	31	4	27.4
1993	29	-2	28.8
1994	22	-7	25.8
1995	26	4	27
1996	26	0	26.8
1997	22	-4	25
1998	29	7	25
1999	22	-7	25
2000	26	4	25
2001	30	4	25.8
2002	21	-9	25.6
2003	13	-8	22.4
2004	16	3	21.2
2005	22	6	20.4
2006	13	-9	17
2007	20	7	16.8

Source: Total Gabon, 2007

Mesure station A68D



Moyenne mobile sur 5 ans

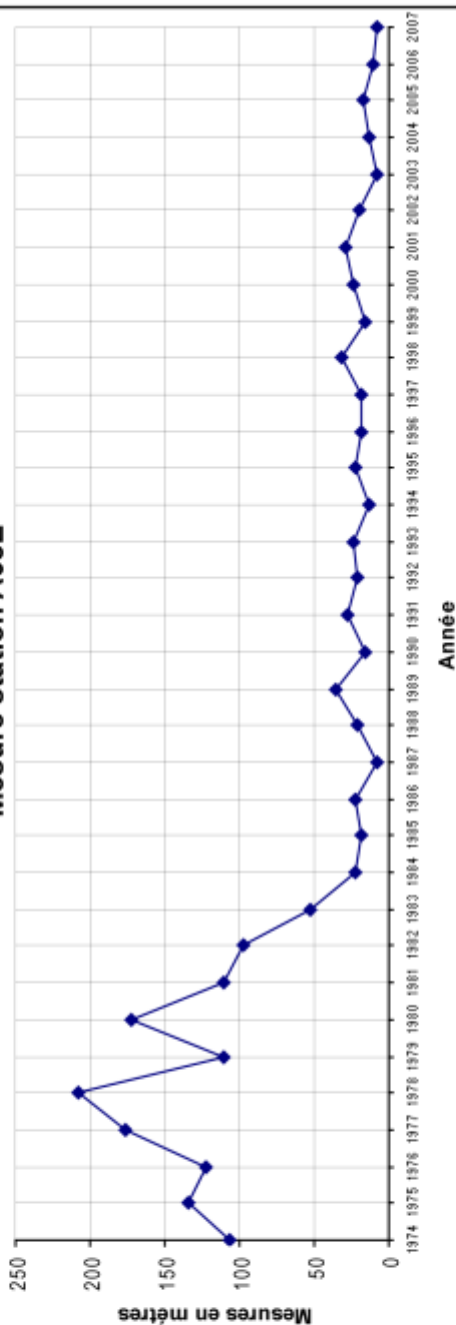


Conception et réalisation: MENIE Zephirin

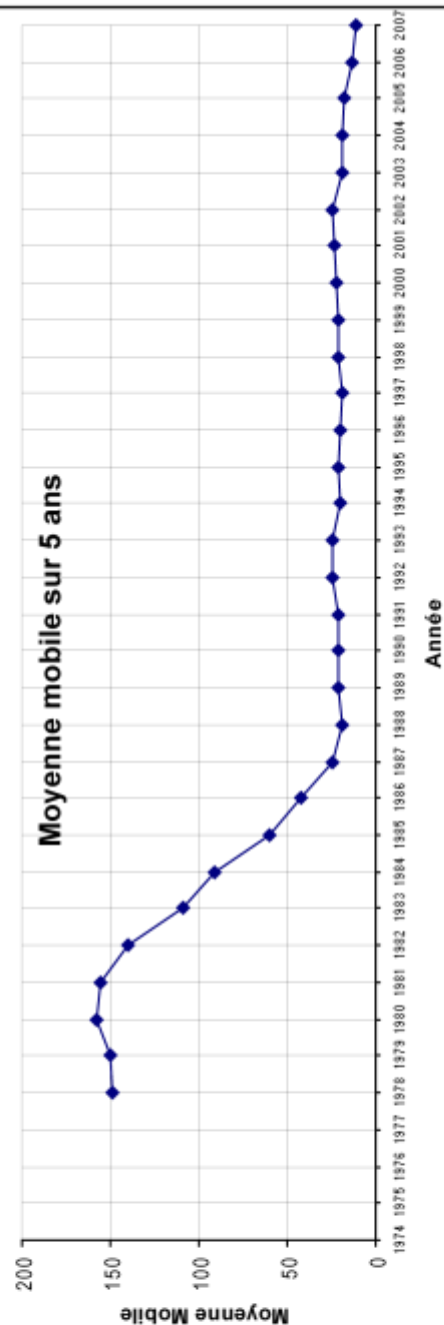
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE E		
Nom Profil A68	Point Origine A68E	

Mesure station A68E



Moyenne mobile sur 5 ans



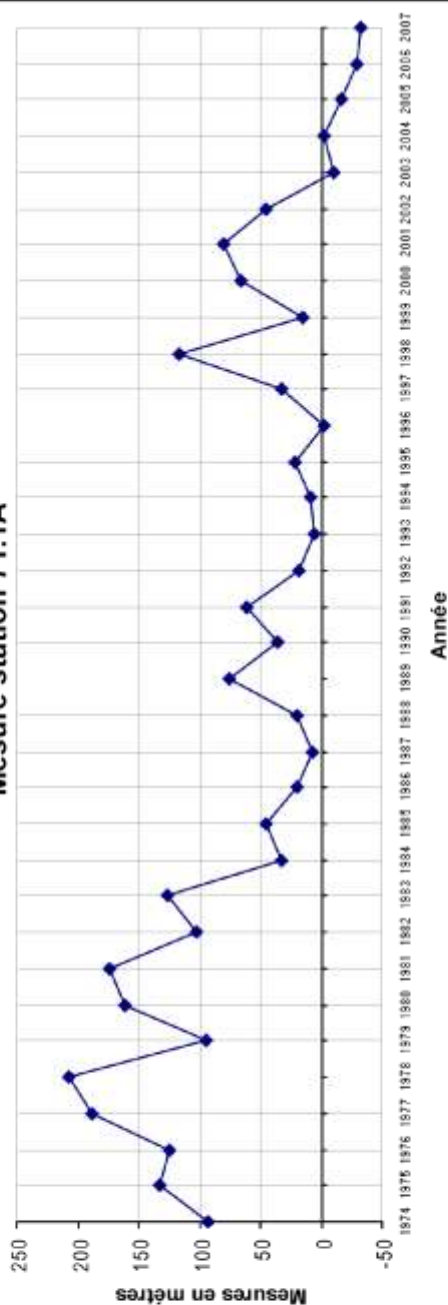
Source: Total Gabon, 2007

Conception et réalisation: MENIE Zephirin

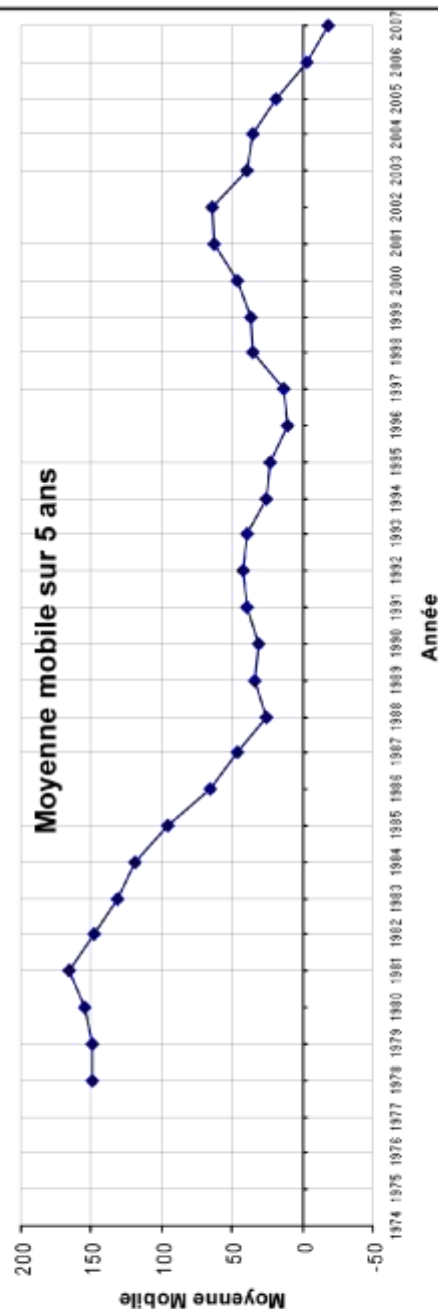
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE E	
Nom Profil	Point Origine
71.1	71.1A

Mesure station 71.1A



Moyenne mobile sur 5 ans



Source: Total Gabon, 2007

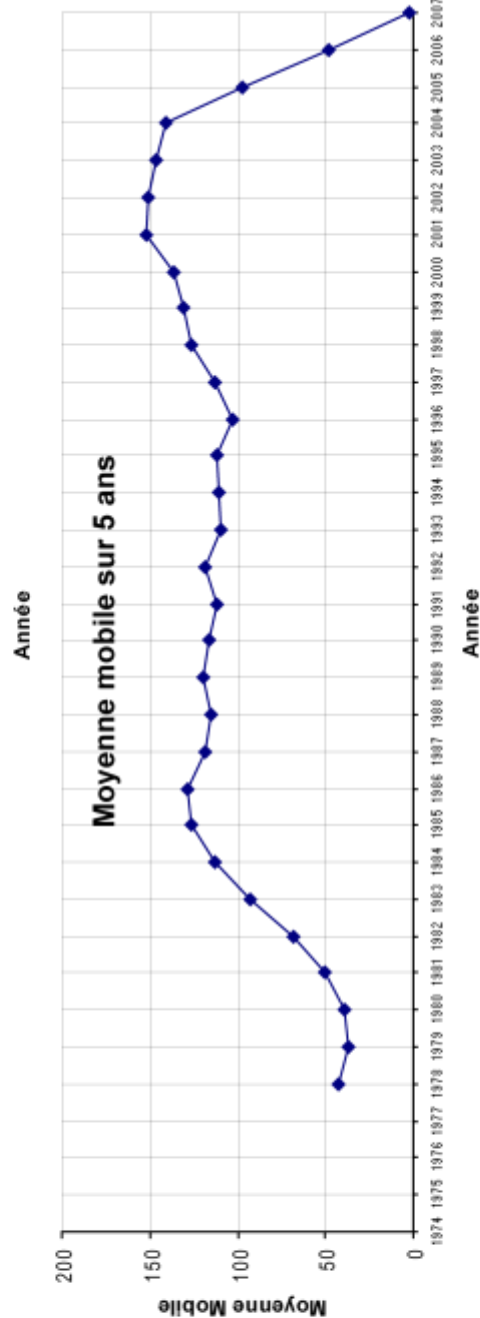
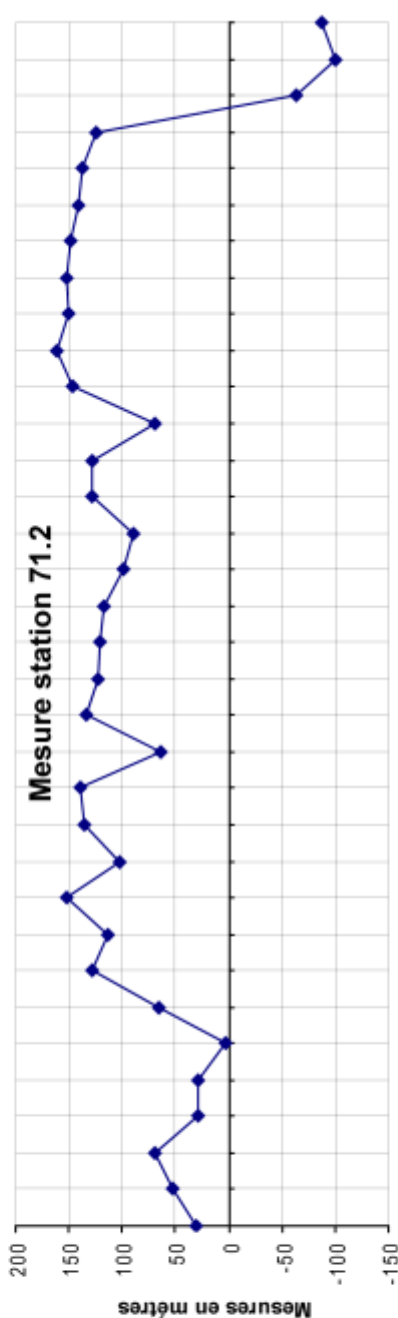
Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE G	
Nom Profil	Point Origine
71.2	71.2

Année	Côte table	Ecart an	Mov Mob
1974	31		
1975	53	22	
1976	70	17	
1977	28	-42	
1978	29	1	42.2
1979	3	-26	36.6
1980	65	62	39
1981	129	64	50.8
1982	113	-16	67.8
1983	152	39	92.4
1984	103	-49	112.4
1985	135	32	126.4
1986	139	4	128.4
1987	64	-75	118.6
1988	134	70	115
1989	123	-11	119
1990	120	-3	116
1991	117	-3	111.6
1992	98	-19	118.4
1993	90	-8	109.6
1994	128	38	110.6
1995	128	0	112.2
1996	69	-59	102.6
1997	147	78	112.4
1998	161	14	126.6
1999	150	-11	131
2000	153	3	136
2001	148	-5	151.8
2002	141	-7	150.6
2003	138	-3	146
2004	124	-14	140.8
2005	63	-187	97.6
2006	-100	-37	48
2007	-87	13	2.4

Source: Total Gabon, 2007



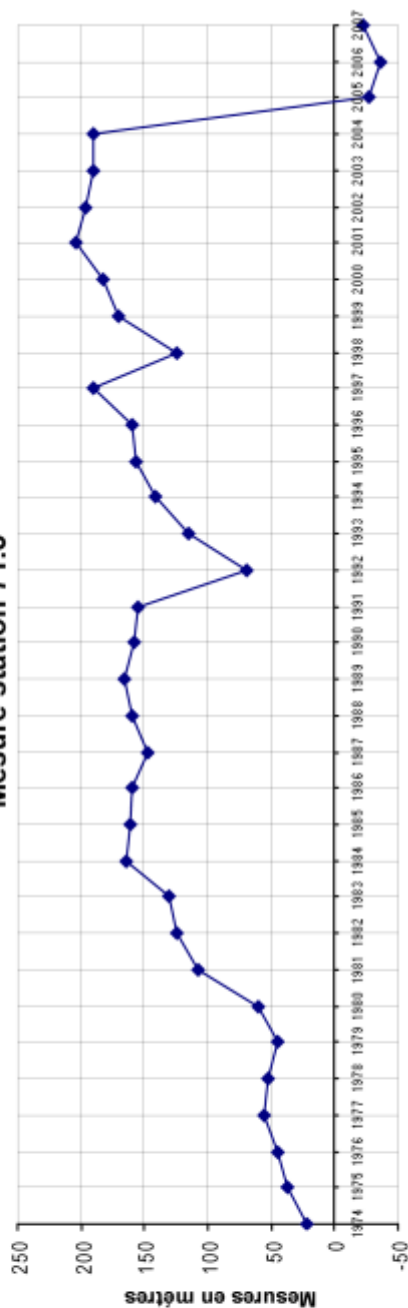
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE G		
Nom Profil	Point Origine	
71.3	71.3	

Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	22		
1975	37	15	
1976	45	8	
1977	55	10	
1978	53	-2	42.4
1979	45	-8	47
1980	60	15	51.6
1981	107	47	64
1982	125	18	78
1983	131	6	93.6
1984	165	34	117.6
1985	161	-4	137.8
1986	160	-1	148.4
1987	147	-13	152.8
1988	160	13	158.6
1989	166	6	158.8
1990	158	-8	158.2
1991	155	-3	157.2
1992	70	-85	141.8
1993	115	45	132.8
1994	142	27	128
1995	156	14	127.6
1996	159	3	128.4
1997	191	32	152.6
1998	125	-66	154.6
1999	170	45	160.2
2000	183	13	165.6
2001	204	21	174.6
2002	196	-8	175.6
2003	190	-6	188.6
2004	190	0	192.6
2005	-27	-217	150.6
2006	-36	-9	102.6
2007	-23	13	58.8

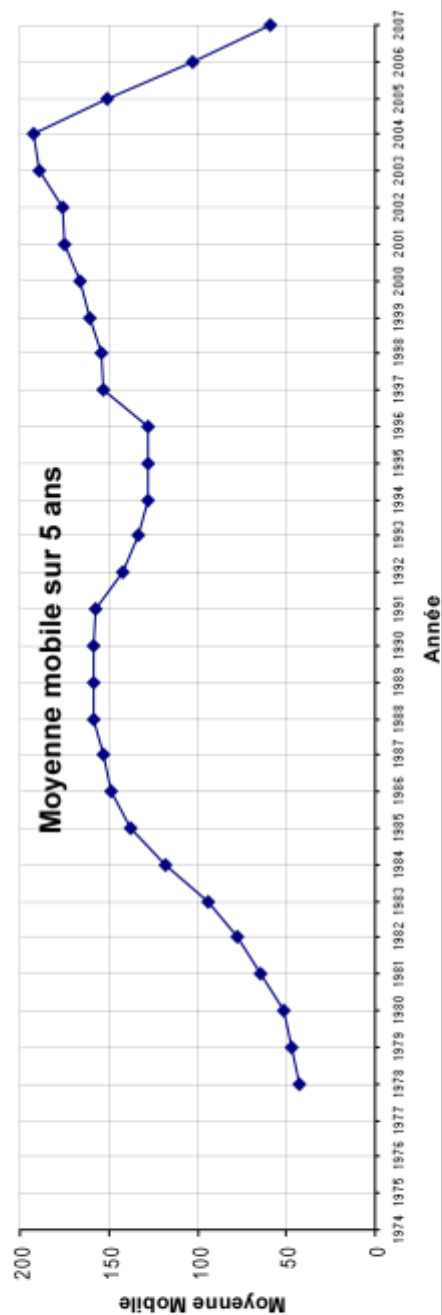
Source: Total Gabon, 2007

Mesure station 71.3



Année

Moyenne mobile sur 5 ans



Année

Conception et réalisation: MENIE Zephirin

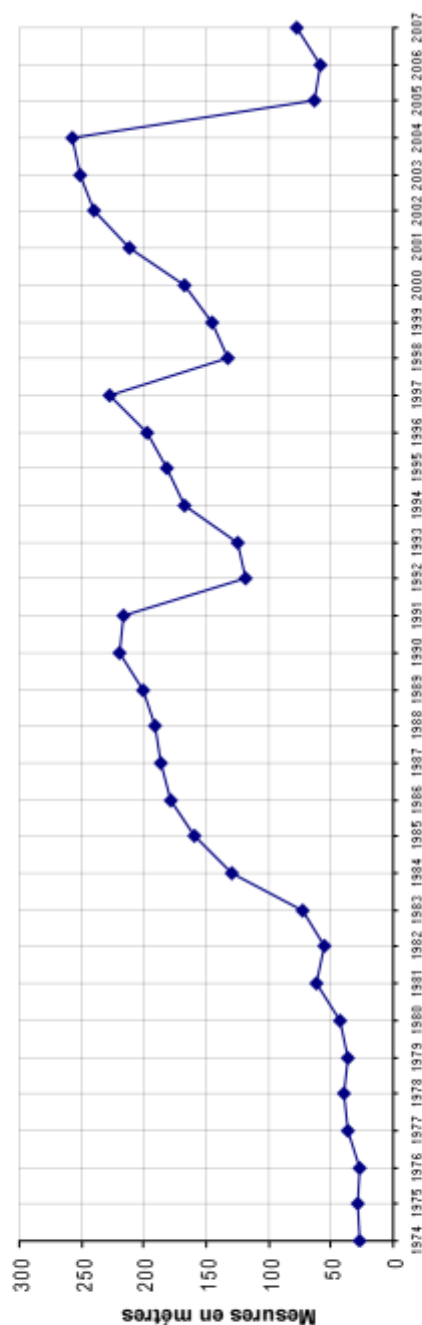
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE G		
Nom Profil	Point Origine	
71.4	71.4	

Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	27		
1975	28	1	
1976	27	-1	
1977	37	10	
1978	39	2	31.6
1979	36	-3	33.4
1980	43	7	36.4
1981	61	18	43.2
1982	56	-5	47
1983	73	17	53.8
1984	130	57	72.6
1985	160	30	96
1986	179	19	119.6
1987	187	8	145.8
1988	191	4	169.4
1989	201	10	183.6
1990	219	18	195.4
1991	216	-3	202.8
1992	118	-98	189
1993	125	7	175.8
1994	167	42	169
1995	181	14	161.4
1996	197	16	157.6
1997	228	31	179.6
1998	133	-95	181.2
1999	146	13	177
2000	168	22	174.4
2001	211	43	177.2
2002	240	29	179.6
2003	251	11	203.2
2004	257	6	225.4
2005	63	-194	204.4
2006	59	-4	174
2007	77	18	141.4

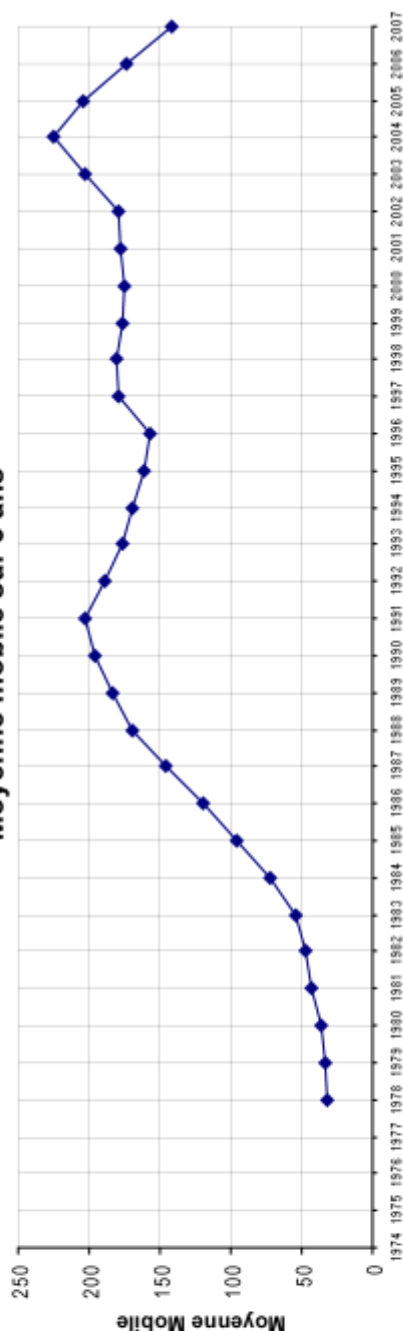
Source: Total Gabon, 2007

Mesure station 71.4



Année

Moyenne mobile sur 5 ans



Année

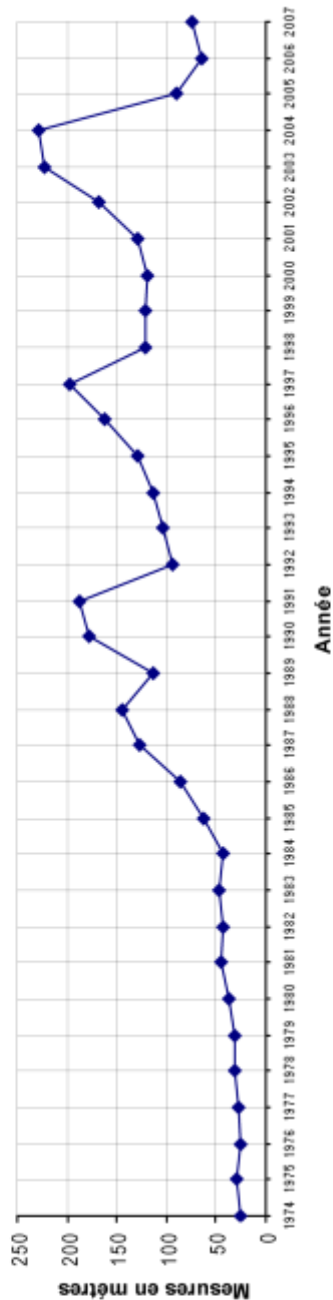
Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE G		
Nom Profil	Point Origine	
71.5	71.5C	

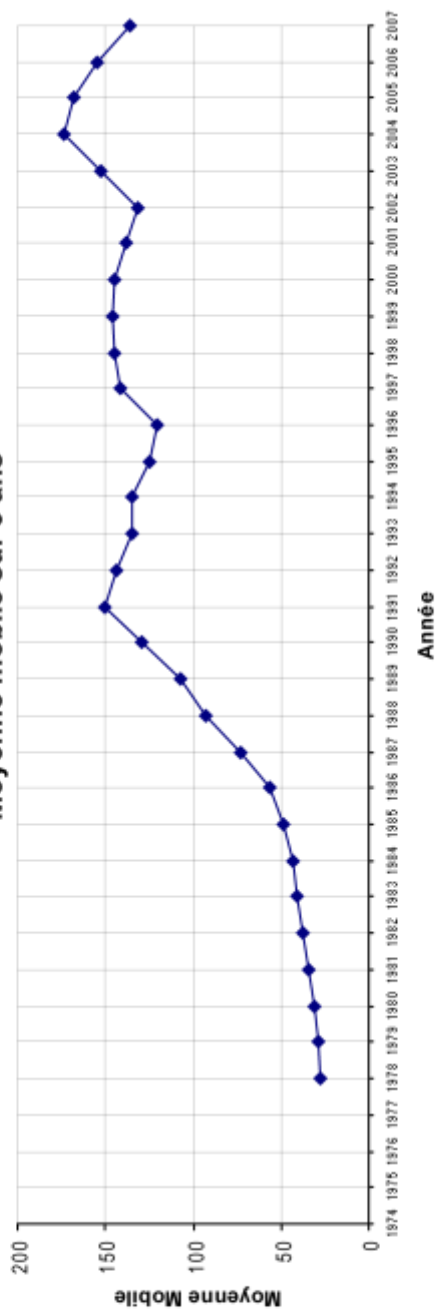
Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob.
1974	25		
1975	30	5	
1976	26	-4	
1977	27	1	
1978	31	4	27.8
1979	31	0	29
1980	38	7	30.6
1981	45	7	34.4
1982	43	-2	37.6
1983	47	4	40.8
1984	43	-4	43.2
1985	63	20	48.2
1986	85	22	56.2
1987	127	42	73
1988	145	18	92.6
1989	114	-31	106.8
1990	177	63	129.6
1991	187	10	150
1992	93	-94	143.2
1993	103	10	134.8
1994	114	11	134.8
1995	129	15	125.2
1996	163	34	120.4
1997	198	35	141.4
1998	121	-77	145
1999	121	0	146.4
2000	120	-1	144.6
2001	129	9	137.8
2002	168	39	131.8
2003	223	55	152.2
2004	229	6	173.8
2005	90	-139	167.8
2006	64	-26	154.8
2007	75	11	136.2

Source: Total Gabon, 2007

Mesure station 71.5C



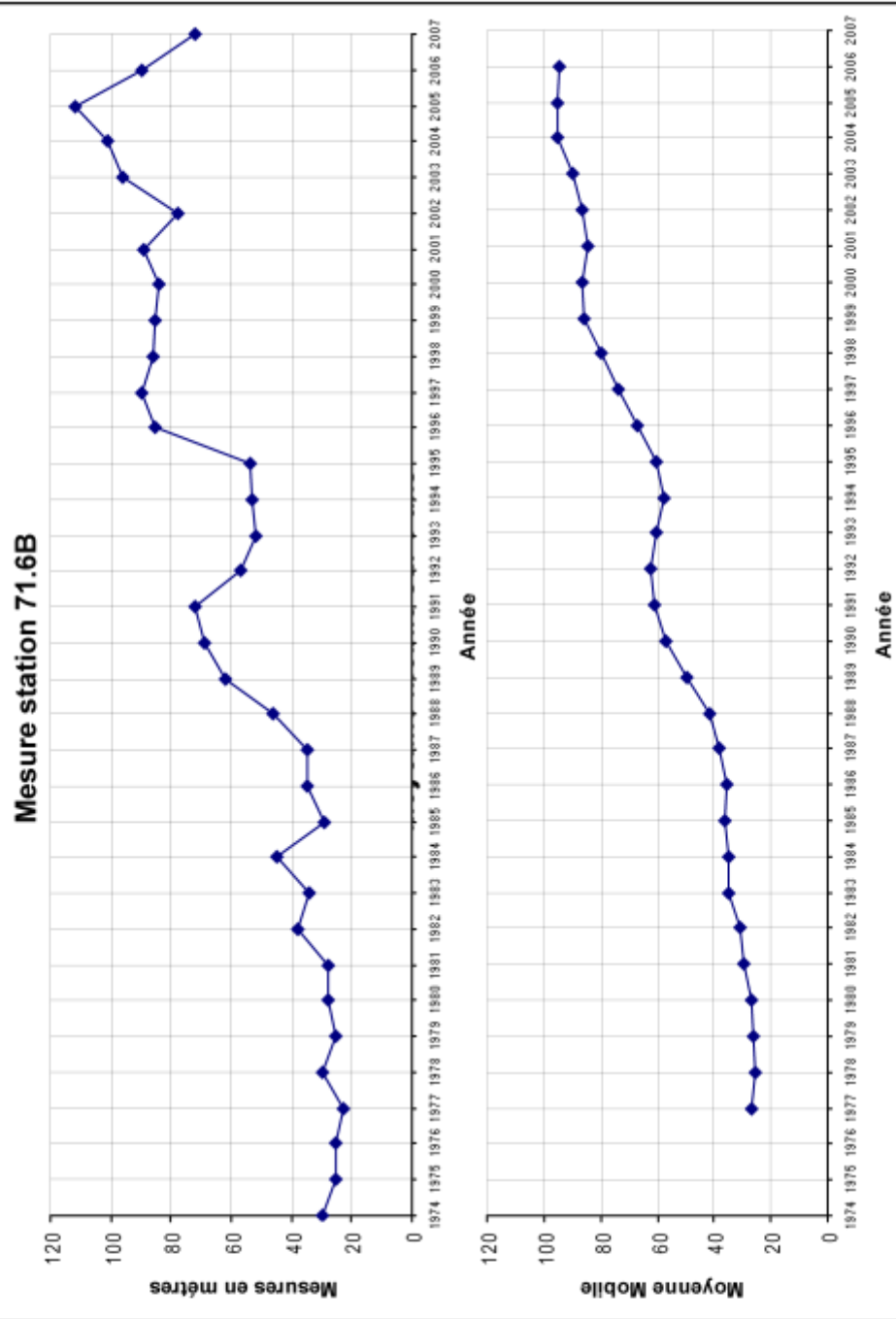
Moyenne mobile sur 5 ans



Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Suivi de la ligne de côte (+2m)

ZONE G		
Nom Profil	Point Origine	
71.6	71.6B	



Année	Côte table	Ecart an	Moy Mob
1974	30		
1975	25	-5	
1976	25	0	
1977	23	-2	
1978	30	7	25.6
1979	25	-5	25.6
1980	28	3	26.2
1981	28	0	26.8
1982	38	10	29.8
1983	34	-4	30.6
1984	45	11	34.6
1985	29	-16	34.8
1986	35	6	36.2
1987	35	0	35.6
1988	46	11	38
1989	62	16	41.4
1990	69	7	49.4
1991	72	3	56.8
1992	57	-15	61.2
1993	52	-5	62.4
1994	53	1	60.6
1995	54	1	57.6
1996	85	31	60.2
1997	90	5	66.8
1998	86	-4	73.6
1999	85	-1	80
2000	84	-1	86
2001	89	5	86.8
2002	78	-11	84.4
2003	96	18	86.4
2004	101	5	89.6
2005	112	11	95.2
2006	90	-22	95.4
2007	72	-18	94.2

Source: Total Gabon, 2007

Conception et réalisation: MENIE Zephirin

Annexe 37A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 71.6B

ANNEXE B : Modèle script de traitement radiométrique et atmosphérique

```
PAGESIZE 6, 8 INCHES;
CELLSIZE MINIMUM;
PRINTERPAGESIZE 8.5, 11;
MARGINS 0.5, 0.5, 0.5, 0.5;
ORIENTATION PORTRAIT;
PRINTSCALE 100;
WINDOW UNION;
PROJECTION DEFAULT;
AOI NONE;
OPTIMIZE NO;
RASTER {ID 1;
    TITLE "n1_p186c61_7t20010731_nn40";
    POSITION 0.788889, 0.577778;
    FILENAME "d:/p186c61_7t20010731_nn40.tif";
    INTERPOLATION NEAREST;
    ATHEMATIC;
    DATATYPE UNSIGNED8;
    DECLARE "Float";
    COMPRESSION UNCOMPRESSED;
    COORDINATES MAP;
    AOI NONE;
    RECODE NO;
    CHILD 2;}
FUNCTION {ID 2;
    TITLE "0.8145 * $n1_p186c61_7t20020731_nn40) - 1.51";
    POSITION 2.95556, 0.611111;
    VALUE "(0.8145 * $n1_p186c61_7t20010731_nn40) - 1.51";
    AREA UNION;
    CHILD 3;}
RASTER {ID 3;
    TITLE "n1_memory";
    POSITION 2.94444, 2.36667;
    TEMPFILE;
    NEWFILE;
    INTERPOLATION NEAREST;
    ATHEMATIC;
    DATATYPE FLOAT;
    DECLARE "Float";
    COMPRESSION UNCOMPRESSED;
    COORDINATES MAP;
    RECODE NO;
    CHILD 4;}
FUNCTION {ID 5;
    TITLE "$n3_memory * 3.1416) / (1044 * 0.7795) * 100";
    POSITION 1.06667, 3.24444;
    VALUE "($n3_memory * 3.1416) / (1044 * 0.7795) * 100";
    AREA UNION;
    CHILD 6;}
RASTER {ID 6;
    TITLE "n7_memory";
    POSITION 1.08889, 4.9;
    FILENAME "d:/n6_memory.img";
    DELETEFILE;
    IGNORE 0;
    INTERPOLATION NEAREST;
    ATHEMATIC;
    DATATYPE FLOAT;
    DECLARE "FLOAT";
    COMPRESSION UNCOMPRESSED;
    COORDINATES MAP;
    RECODE NO;
    CHILD 7;}
FONCTION {ID 8;
    TITLE "$n7_memory-12.88";
    POSITION 1.09996, 5.1235;
    VALUE "$n7_memory-12.88";
    AREA UNION;
    CHILD 8;}
```

Annexe 38 : Modèle script de traitement radiométrique et atmosphérique

ANNEXE C : Actions locales de lutte contre l'érosion côtière au GABON

PROVINCE DE L'OCCIDENT-MARITIME
COMMUNE DE PORT - GENTIL

REPUBLIQUE GABONAISE
MINISTRE TRAVAIL-JUSTICE

2 - B / 90.-

LIBERATION
portant interdiction d'extraire du sable le long du Littoral Communal de Port-Gentil.

LE CONSEIL MUNICIPAL

(/u la Constitution ;
(/u les Décrets n° 505/PR & 506/PR du 27 & 30 Avril 1990, portant composition du Gouvernement ;
(/u l'Ordonnance n° 24/PR/MI-TC du 6 Avril 1993, portant organisation des Municipalités Gabonaises en général et déterminant leurs règles de fonctionnement ;
(/u le Décret n° 993/PR du 12 Septembre 1972, portant régime financier et comptable des Collectivités Secondaires ;
(/u le Procès-verbal de la réunion du Conseil Municipal du 24 Octobre 1990 ;
sous réserve de l'approbation de l'Autorité de Tutelle des Communes ;
Délibérant conformément aux dispositions des articles 22 à 40 de l'Ordonnance 24/PR, susvisée ;

A ADOPTE :

En la séance du 24 Octobre 1990, la délibération dont la teneur suit :

ARTICLE 1er. - Il est interdit aux Sociétés et Entreprises installées à Port-Gentil d'extraire du sable le long du Littoral Communal sans l'autorisation des Autorités Municipales.

ARTICLE 2. - La présente délibération sera enregistrée, publiée et communiquée partout où besoin sera. /-

Le Conseil Municipal
(Liée ci-jointe)

Le Maire,

Le Général Pierre André RIZOËBO,-

APPROUVÉ sous n° 076 /MTC/DEAT/DECL
le 21/11/90

SP. VICE

LE DIRECTEUR GENERAL DE L'ADMINISTRATION DU TERRITOIRE

LE DIRECTEUR LE LA COLLECTIVITE LOCAL

SOURCE : S. - - - -

Annexe 39 : Arrêté préfectoral sur l'interdiction d'extraction de sable de plage à Port-Gentil

HEBDO

informations

Journal hebdomadaire d'informations et d'annonces légales

LE CODE DE L'ENVIRONNEMENT

Loi n° 16/93
du 26 août 1993
relative à la protection
et à l'amélioration de l'environnement

L'Assemblée nationale a délibéré et adopté,
Le président de la République, chef de l'État, promulgue la loi dont la teneur suit :

TITRE I - DISPOSITIONS GÉNÉRALES

Article 1° - La présente loi a pour objet de déterminer les principes généraux qui doivent fonder la politique nationale en matière de protection et d'amélioration de l'environnement.

Elle tend notamment à :

- 1) la préservation et l'utilisation durable des ressources naturelles,
- 2) la lutte contre les pollutions et nuisances,
- 3) l'amélioration et la protection du cadre de vie,
- 4) la promotion de nouvelles valeurs et d'activités génératrices de revenus, liées à la protection de l'environnement,
- 5) l'harmonisation du développement avec la sauvegarde du milieu naturel.

Article 2 - L'environnement, au sens de la présente loi, est l'ensemble des éléments naturels et artificiels ainsi que des facteurs sociaux, économiques et culturels, dont les interactions influent sur le milieu ambiant, sur les organismes vivants, sur les activités humaines et conditionnent le bien-être de l'homme.

Article 3 - L'environnement, en tant que cadre de toutes les activités humaines, constitue le patrimoine national qui comporte pour l'ensemble des citoyens des droits et des obligations.

La protection et l'amélioration de l'environnement constituent une mission d'intérêt général et une préoccupation à prendre systématiquement en compte dans les plans nationaux de développement économique, social et culturel.

Article 4 - Le ministre chargé de l'environnement veille au respect des principes fondamentaux définis à l'article premier ci-dessus dont l'application implique la mise en œuvre d'une politique :

- 1) d'aménagement des ressources naturelles susceptible d'assurer à la fois leur protection et leur reconstitution afin d'en garantir la pérennité,
- 2) d'exploitation rationnelle permettant le maintien des équilibres entre les différents facteurs naturels du milieu ambiant et leurs interactions avec les conditions de l'environnement,
- 3) de protection intégrant des techniques com-

ci-dessus participent à l'élaboration et à l'exécution de la politique nationale de l'environnement, selon les modalités prévues par la présente loi, par les textes pris pour son application et par les autres dispositions légales et réglementaires édictées en cette matière.

TITRE II

LES RESSOURCES NATURELLES

Article 6 - Sont qualifiés de ressources naturelles au sens de la présente loi, les éléments suivants :

- les mers et les océans,
- les eaux continentales,
- le sol et le sous-sol,
- l'air,
- la faune et la flore,
- les aires protégées.

Chapitre premier

Les mers et les océans

Article 7 - Le milieu marin et océanique est constitué par :

- le rivage de la mer et ses ressources,
- les espaces maritimes et océaniques relevant de la souveraineté territoriale ou placés sous la juridiction nationale,
- leurs ressources biologiques et non biologiques.

Article 8 - Des textes seront pris en application de la présente loi pour prévenir et combattre tous actes susceptibles de porter atteinte au milieu marin et océanique et pouvant entraîner, notamment, une pollution des eaux des mers et des océans, des risques pour la santé humaine ou des dommages aux ressources biologiques, à la faune et à la flore marines et océaniques, aux valeurs d'agrément et aux autres utilisations légitimes du milieu marin et océanique.

N° 231 - 15 SEPTEMBRE 1993
200 F

SOMMAIRE

Le code de l'environnement.

- Loi n° 16/93 du 26 août 1993 relative à la protection et à l'amélioration de l'environnement.

• TEXTES OFFICIELS

- Loi n° 21/93 du 23 août 1993 autorisant l'État gabonais à contracter un emprunt d'un montant équivalent à 22.800.000 dollars US auprès de la Banque Internationale pour la reconstruction et le développement (BIRD).

- Décret n° 1208/PR/MEPPE du 30 août 1993 définissant les zones d'exploitation forestière.

- Décret n° 1209/PR/MEPPE du 30 août 1993 fixant les classes générales et particulières des espèces des charges en matière d'exploitation forestière.

Chapitre deuxième Les eaux continentales

Article 9 - Les eaux continentales sont constituées par :

- les eaux de surface et les eaux souterraines, - les lits et les rives des différents écosystèmes aquatiques,
- tout édifice qui s'y trouve ou s'y rattache.

Les eaux telles qu'elles sont définies

à l'article 9 ci-dessus doivent être gérées de façon rationnelle et équilibrée en vue de permettre et de concilier notamment :

- la préservation de leur qualité,
- l'alimentation en eau potable de la population, - la satisfaction des besoins de l'agriculture, de l'industrie, des transports et de toutes autres activités humaines d'intérêt général,
- le maintien de la vie biologique du milieu - aquatique.

Article 11 - Pour prévenir et lutter contre la pollution des eaux, le ministre chargé de l'environnement prend les mesures nécessaires qui consistent

- 1) analyser systématiquement les eaux en vue d'établir leur degré de pollution;
- 2) établir la liste des substances nocives ou nuisibles dont l'introduction dans les eaux, de quelque manière que ce soit, doit être soit interdite, soit soumise à autorisation préalable dans les conditions fixées par les textes en vigueur;

Article 17.- Les vendeurs, les utilisateurs des pesticides ou d'autres substances chimiques à effets nuisibles sont tenus de ne vendre et de n'utiliser que des produits rentrant dans la nomenclature légalement admise par les organismes compétents.

Article 18.- Les exploitants des ressources naturelles doivent tenir compte de :

1) l'utilisation des méthodes appropriées pour garantir la régénération de ces ressources ou le maintien d'un rapport raisonnable entre le volume des réserves disponibles et le volume de celles qui sont appelées à être exploitées;

2) l'adoption des mesures destinées à prévenir aussi bien la dégradation de l'environnement consécutive aux travaux d'extraction des matières que la stabilité des terrains de construction et des autres emplacements économiques, ainsi que tout autre effet susceptible de nuire à la santé humaine.

Article 19.- Il est interdit de jeter, d'évacuer et d'injecter les résidus solides, liquides ou gazeux, ou toute autre substance susceptible de polluer ou de dénaturer les ressources naturelles.

Chapitre quatrième

L'air

Article 20.- Afin de préserver la qualité de l'air contre toute forme de pollution susceptible de nuire aux écosystèmes, à la santé et au cadre bâti, il est fait obligation :

1) aux établissements industriels, aux vendeurs et utilisateurs des véhicules et machines à moteurs, de les construire, les équiper, les exploiter, les utiliser ou les entretenir de manière à réduire ou à éviter la pollution de l'air;

2) aux organismes et organisations compétents de répartir les agents économiques et autres qui peuvent nuire à la qualité de l'air, exclusivement dans les zones où les conséquences de pollution sont minimales, ainsi que de veiller au perfectionnement des procédés technologiques dans les entreprises afin de réduire la quantité des polluants;

3) à tout agent économique ou usager d'éviter d'émettre dans l'air, au-delà des seuils réglementaires, toute substance polluante telle que la fumée, la poussière ou les gaz toxiques.

Article 21.- Des textes d'application pris en vertu de la présente loi préciseront les conditions de mise en vigueur de l'article 20 ci-dessus.

Chapitre cinquième

La faune et la flore

Article 22.- La faune et la flore sont gérées de façon rationnelle et équilibrée, en tenant compte, notamment, de la nécessité d'éviter leur surexploitation ou leur extinction, de préserver le patrimoine génétique et d'assurer le maintien des équilibres écologiques, conformément aux textes en vigueur. **Article 23.-** Les activités industrielles, urbaines, agricoles, minières, touristiques ou autres, susceptibles de porter atteinte à la faune et à la flore, ou d'entraîner la destruction de leurs milieux naturels, sont soit interdites, soit soumises à autorisation préalable du ministre chargé de l'environnement, dans les conditions fixées par les textes en vigueur et les dispositions prises en application de la présente loi.

Article 24.- En vue d'assurer les conditions d'agrément, de récréation, du tourisme, de l'embellissement du paysage et de l'amélioration de la qualité de l'air, les espaces verts à l'intérieur et aux alentours des localités, habitations et bâtiments doivent être aménagés conformément aux plans d'utilisation

Article 25.- Les espèces animales et végétales rares ou menacées d'extinction, ainsi que leurs milieux naturels, font l'objet d'une protection renforcée.

Leur exploitation, leur commercialisation ou leur exportation sont réglementées. Leur utilisation pour les besoins de la recherche scientifique est soit interdite, soit soumise à autorisation préalable conformément aux textes en vigueur.

Les dispositions prises en application de la présente loi et celles des textes en vigueur fixent la liste de ces espèces animales et végétales protégées, ainsi que les modalités de leur protection et de la préservation de leurs milieux.

Article 26.- L'introduction d'espèces animales ou végétales exotiques jugées par les autorités compétentes comme étant susceptibles de porter atteinte aux espèces animales ou végétales locales est soit interdite, soit soumise à autorisation préalable, conformément aux dispositions légales.

Chapitre sixième

Les aires protégées

Article 27.- Toute portion du territoire national constituée en zone de terrain ou d'eau et présentant un intérêt particulier du point de vue écologique, archéologique, scientifique, esthétique, culturel ou socio-économique, peut être délimitée et érigée en aire protégée, de sorte que soit préservée son intégrité.

La création et la délimitation des aires protégées font l'objet de textes législatifs.

Article 28.- Les aires protégées peuvent se présenter sous diverses formes, notamment :

1) de parcs nationaux, parcs naturels, réserves naturelles, tels que définis aux articles 32 à 40 de la loi n° 1/82 du 22 juillet 1982 dite loi d'orientation en matière des eaux et forêts;

2) de monuments naturels et sites, fermes de culture marine, stations piscicoles, parcs marins, stations de recherche scientifique, réserves de la biosphère constituées des associations de végétation, des formes de relief, d'espèces de plantes et d'animaux rares ou en voie de disparition, par la conservation desquelles il est possible de maintenir l'intégrité des beautés naturelles ou de préserver l'espèce.

Article 29.- En vue de protéger les aires et d'en sauvegarder l'intégrité, il est interdit d'entreprendre des activités qui peuvent mener à la dégradation ou à la modification de l'aspect initial du paysage, de la structure de la faune et de la flore, ou de l'équilibre écologique, sauf autorisation exceptionnelle de l'organisme légalement compétent.

TITRE III

POLLUTION ET NUISANCES

Article 30 0.- Au sens de la présente loi, les termes pollution et nuisances visent tous les facteurs ayant pour effet ou susceptibles d'avoir pour effet de détériorer l'environnement et de priver les populations des conditions de vie et de travail saines ou agréables.

Article 31 0.- Au sens de l'article 30 ci-dessus, peuvent être considérés comme facteurs potentiels de pollution et de nuisances :

- les déchets,
- les substances dangereuses,
- les bruits et vibrations,
- les installations classées,
- les dégradations de l'esthétique environnementale,

Article 14.- Les activités humaines, notamment les travaux agricoles et sylvicoles, les travaux de prospection, d'exploration et d'exploitation des mines et des carrières, les emplacements industriels agro-zootecniques, socio-culturels, doivent s'effectuer conformément aux conditions pédo-climatiques ainsi qu'aux dispositions des textes en vigueur.

Les utilisateurs des terrains à quelque titre que ce soit doivent exécuter, conformément aux techniques autorisées par les organismes compétents, des travaux pour prévenir et combattre l'érosion, les glissements de terrains, l'exsèd d'humidité, les inondations et tout autre forme de calamité.

Article 15.- Il est interdit de déposer, jeter, déverser ou épargner des déchets ou résidus solides, liquides ou gazeux, ou toute autre substance susceptible de polluer le sol en des endroits autres que ceux exclusivement prévus à cet effet par les textes en vigueur.

Article 16.- Les utilisateurs des pesticides ou d'autres substances chimiques nocives sont tenus d'en faire usage de façon rationnelle uniquement pour combattre les maladies, les animaux nuisibles ainsi que pour favoriser la fertilisation des sols.

- les odeurs,
- les fumées et poussières,
- les lumières.

Chapitre premier -Déchets

Article 32 .-Sont considérés comme déchets au sens de la présente loi et des textes pris pour son application :

- les effluents,
- les ordures ménagères,
- les chutes et résidus industriels.

Article 33 .- En vue de préserver la santé et la qualité de l'environnement, le ministre chargé de l'environnement peut, en liaison avec les départements ministériels intéressés, prendre toutes les mesures nécessaires pour assurer l'hygiène, la salubrité et l'assainissement des établissements humains, conformément à la législation en vigueur et aux textes d'application de la présente loi.

Article 34 : Les mesures prévues à l'article 33 ci-dessus visent notamment à fixer les conditions dans lesquelles doivent s'effectuer la collecte, le ramassage, le traitement et l'élimination des effluents d'origines diverses et des déchets de toute sorte.

Article 35 .- Tout rejet dans le milieu naturel d'effluents susceptibles de nuire à la santé ou de porter atteinte à la qualité de l'environnement est soit interdit, soit soumis à autorisation préalable, dans les conditions fixées par les dispositions prises en application de la présente loi.

Article 36 .- Les déchets de toute sorte d'origine industrielle, agro-pastorale, artisanale, minière, commerciale, urbaine ou autre, doivent être collectés, ramassés, traités de façon à éliminer ou à réduire leurs effets nocifs sur la santé, les ressources naturelles et la qualité de l'environnement.

Article 37 .- La collecte, le tri, le stockage, le transport, la récupération, la réutilisation, le recyclage ou l'élimination des déchets doivent être assurés conformément à la législation en vigueur et aux textes d'application de la présente loi.

Article 38 .- Les décharges de déchets doivent être implantées, aménagées et contrôlées de manière à supprimer ou à réduire leurs effets sur la santé, les ressources naturelles et la qualité de l'environnement, conformément à la législation en vigueur et aux textes d'application de la présente loi.

Article 39 .- En vue de réduire les quantités de déchets produits par les activités humaines, le recours aux technologies et aux processus de fabrication et de transformation faiblement générateurs de déchets est encouragé, dans les conditions fixées par les dispositions prises en application de la présente loi.

Chapitre deuxième Substances dangereuses

Article 40 .- Toute substance dangereuse, notamment les produits chimiques et les matières radio-actives dont la nocivité, la toxicité ou la concentration sont de nature à nuire à la santé ou à porter atteinte aux ressources naturelles ou à la qualité de l'environnement, est soumise au contrôle et à la surveillance du ministre chargé de l'environnement, conformément à la législation en vigueur et aux dispositions prises en application de la présente loi.

Article 41 .- Les dispositions prévues à l'article 40 ci-dessus fixent notamment :

1) la liste des substances dangereuses dont l'importation, la fabrication, la commercialisation, le stockage, la circulation, le transport, l'utilisation ou le rejet dans le milieu naturel sont soit interdits, soit soumis à autorisation préalable du ministre chargé de l'environnement;

2) les modalités de contrôle, de surveillance et d'autorisation des substances dangereuses;

3) les précautions à prendre pour la manipulation, la manutention, le transport, le stockage et l'utilisation des substances dangereuses autorisées.

Article 42 .-Le ministre chargé de l'environnement ne peut autoriser l'exploitation des emplacements industriels, artisanaux et commerciaux que si les unités concernées sont munies d'installations ou de dispositifs qui permettent l'épuration et la neutralisation de substances dangereuses.

Article 43 .-La circulation des moyens de transport qui répandent des substances polluantes dépassant les seuils réglementaires est interdite.

Chapitre troisième Bruits et vibrations

Article 44 .-Il est interdit de produire des bruits ayant des intensités dépassant les seuils fixés par les normes légales ou réglementaires.

Article 45 .- Les établissements, installations, édifices, immeubles, ouvrages, chantiers, engins, véhicules et appareils publics ou privés, sont construits, équipés, exploités, utilisés et entretenus de manière à supprimer ou à réduire les bruits et les vibrations qu'ils causent ou qui sont susceptibles, en raison de leur intensité, d'incommoder le voisinage, de nuire à la santé ou de porter atteinte à la qualité de l'environnement, conformément aux textes en vigueur.

Article 46 .-Les dispositions prévues à l'article 45 ci-dessus fixent, notamment, les niveaux sonores à ne pas dépasser et prévoient les systèmes de mesure et les moyens de contrôle à mettre en oeuvre pour assurer le respect des seuils admissibles.

Chapitre quatrième Installations classées

Article 47 .-Les installations publiques ou privées, industrielles, agricoles, minières, artisanales, commerciales ou autres susceptibles d'incommoder le voisinage, de nuire à la santé ou de porter atteinte à la qualité de l'environnement, sont classées dans une nomenclature établie par les textes d'application de la

Article 48 .-Les installations classées dont la nomenclature est prévue à l'article 47 ci-dessus sont soumises :

1) soit à autorisation préalable du ministre chargé de l'environnement, lorsqu'elles présentent des inconvénients graves pour la santé, la qualité de l'environnement ou la commodité du voisinage;

2) soit à déclaration préalable agréée par le ministre chargé de l'environnement, lorsqu'elles ne présentent pas des inconvénients graves mais doivent, en raison de la nature de leurs activités ou du lieu de leur implantation, obéir à la réglementation générale édictée en vue d'assurer la protection de l'environnement et la commodité du voisinage.

Article 49 .-L'autorisation prévue à l'article 48 ci-dessus est accordée après étude d'impact effectuée conformément aux dispositions des articles 67 à 71 de la présente loi et des textes pris pour son application.

Article 50 : Les personnes physiques ou morales, propriétaires ou exploitantes d'installations classées, sont tenues de se conformer aux dispositions de l'article 63 ci-dessous et de prendre toutes autres mesures nécessaires pour prévenir et combattre les pollutions et nuisances causées par leurs installations.

Article 51 .- Les responsables des installations classées existantes lors de l'entrée en vigueur de la présente loi sont tenus de se conformer à ses prescriptions dans les délais et selon les modalités fixées par les dispositions prises pour son application.

Article 52 : Les installations classées soumises à autorisation préalable doivent, dans les conditions fixées par les textes d'application de la présente loi, disposer d'un plan d'urgence destiné, en cas d'accident, à assurer l'alerte des pouvoirs publics et des populations voisines, à faciliter l'évacuation du personnel et à permettre la mise en oeuvre des moyens propres à circonscrire le sinistre.

Chapitre cinquième

Dégradations de l'esthétique environnementale Article 53.- Au sens de la présente loi, on entend par dégradation de l'esthétique environnementale toutes les actions tendant à avilir le milieu sous quelque forme et à quelque degré que ce soient, notamment par :

- 1) la salissure des murs, parois ou façades des immeubles, édifices, monuments ou autres;
- 2) l'obscurcissement, l'occupation abusive, l'encombrement et l'enlaidissement des voies de circulation et des lieux publics.

Article 54 D- Les agents du ministère chargé de l'environnement dûment habilités apprécient la réalité et le degré de la dégradation.

Article 55 : Afin d'assurer la protection et la sauvegarde de l'esthétique du milieu, il est fait obligation à toute personne physique ou morale concernée :

- 1) de réaliser des constructions selon les plans cadastraux et dans le respect des règles d'urbanisme;
- 2) de combattre toutes les pollutions et nuisances découlant aussi bien des activités économiques et sociales que des processus biologiques;
- 3) de déterminer rationnellement les découpages des territoires urbains et ruraux;
- 4) d'adopter des mesures de protection appropriées s'appliquant aux zones d'habitat ou aux zones affectées aux activités industrielles ou touristiques et aux installations de dépôts pour les déchets et les

- 5) de doter toutes les agglomérations urbaines et rurales de stations pour l'épuration des eaux dégradées et d'assurer leur entretien et leur adaptation à révolution des utilisations.

Chapitre sixième -Odeurs

Article 56 D- Les odeurs nauséabondes doivent être supprimées dans toute la mesure du possible.

Article 57 .- En vue de prévenir et de lutter contre les odeurs et la pollution atmosphérique, des mesures doivent être prises conformément aux dispositions de loi et des textes en vigueur.

Article 58 : Les mesures prévues à l'article 57 ci-dessus précisent notamment les caractéristiques des équipements sanitaires individuels et collectifs autorisés, les conditions d'implantation et d'ouverture publiques ou privées, ainsi que

les conditions d'exercice de toute activité susceptible d'émettre des odeurs nauséabondes.

Chapitre septième Fumées et poussières

Article 59 .- Sont interdites, dans tout établissement, habitation, agglomération, la production de poussières, de fumées épaisses, notamment suies, buées, et de façon générale, toutes projections et émanations susceptibles de nuire à la santé et à la commodité du voisinage au-delà des seuils prévus par voie réglementaire.

Chapitre huitième -Lumières

Article 60.- Toute utilisation de sources lumineuses à rayonnements nuisibles sans respect des conditions de protection de la santé et de l'environnement est interdite.

Article 61 .-Les dispositions prises en application de la présente loi et des textes en vigueur préciseront la nature de ces rayonnements.

TITRE IV -DISPOSITIONS COMMUNES

Article 62 .-Les pollutions et les nuisances, ainsi que tous les autres facteurs de dégradation de l'environnement dont il est fait état dans la présente loi, sont soumis aux dispositions d'ordre technique et pénal prévues aux articles 63 à 83 ci-des- sous.

Chapitre premier Dispositions techniques

Article 63 .- Les dispositions prises en application de la présente loi fixent .

- 1) les normes à respecter pour assurer le maintien et la qualité de l'environnement;
- 2) les équipements destinés à analyser, à prévenir, à atténuer et à éliminer les incidences néfastes à l'environnement;
- 3) l'objet des études d'impact et des plans d'urgence à mettre en oeuvre.

Article 64 .- Les normes de qualité de l'environnement sont fixées en tenant compte, notamment, de l'état des milieux récepteurs et de leur capacité d'auto-épuration.

Article 65 .-Des normes de qualité plus sévères que les normes en vigueur peuvent être édictées en vue de permettre la protection de régions fortement exposées à la pollution ou pour assurer la préservation des milieux naturels particulièrement fragiles.

Article 66 .- Pour permettre l'établissement et l'actualisation des normes de qualité et afin d'assurer le contrôle de leur application, des réseaux de surveillance continue de l'environnement sont mis en place, conformément aux textes en vigueur.

Article 67 .-Les travaux, ouvrages ou aménagements industriels, agricoles, urbains, ruraux, miniers ou autres, entrepris par les collectivités publiques et les entreprises publiques ou privées, qui risquent, en raison de l'importance de leur dimension ou de leurs incidences écologiques, de porter atteinte à l'environnement, doivent donner lieu à une étude d'impact préalable soumise à l'examen du ministre chargé de l'environnement, et ce, conformément à la législation en vigueur et aux textes pris en application de la présente loi.

Article 68 .- L'étude d'impact est un instrument d'analyse et de prévision qui vise à identifier, évaluer et éviter les incidences néfastes, directes et indirectes, des projets de travaux, ouvrages ou aménagements, sur la santé; la qualité de l'environnement, les ressources naturelles et les équilibres

ronnement, les ressources naturelles et les équilibres

Article 69 .-Les textes prévus à l'article 67 ci-des- sus fixent notamment :

- 1) la liste des catégories de travaux, ouvrages ou aménagements soumis à l'obligation de l'étude d'impact;
- 2) les modalités d'établissement, de contrôle et de publicité de l'étude d'impact.

Article 70 .- L'étude d'impact conditionne la délivrance de l'autorisation d'exploiter; elle n'est toutefois pas exigible si le ministre chargé de l'environnement juge que la portée et la durée de l'opération, ainsi que les méthodes techniques utilisées, ne donnent pas lieu à des effets néfastes significatifs sur l'environnement.

Article 71 .- Le ministre chargé de l'environnement exerce un contrôle régulier pour vérifier que les prescriptions que comporte l'autorisation prévue à l'article 70 ci-dessus sont respectées; il peut éventuellement suspendre ou retirer l'autorisation.

Article 72 .-Afin de pouvoir faire face aux situations critiques génératrices de graves atteintes à la santé, aux ressources naturelles ou à la qualité de l'environnement, telles que marées noires ou accidents chimiques, des plans d'urgence doivent être établis en collaboration avec les départements ministériels concernés, conformément à la législation en vigueur et aux dispositions prises en application de la présente loi.

Article 73 .- Les plans d'urgence prévus à l'article 72 ci-dessus doivent comporter en priorité les procédures adaptées pour faire face aux incidents de nature à entraîner la pollution ou un risque de pollution aux effets dommageables.

Article 74.- Les plans d'urgence étant une nécessité impérative, le ministre chargé de l'environnement doit :

- 1) s'assurer que les opérateurs prennent les mesures effectives pour les rendre opérationnels;
- 2) contraindre les opérateurs à les élaborer et, au besoin, prendre eux-mêmes, conformément aux textes en vigueur et aux dispositions prises en application de la présente loi, des mesures qui leur paraissent efficaces et accessibles;
- 3) être en permanence pleinement informé de la nature et de la qualité des mesures prises;
- 4) prendre des sanctions appropriées contre les opérateurs qui n'auront pas respecté les mesures prescrites.

Article 75 .- Les dispositions prévues à l'article 74 ci-dessus concernent notamment le contenu, les modalités d'élaboration et les conditions de mise en oeuvre des plans d'urgence.

Chapitre deuxième Dispositions pénales

Article 76 .- Les infractions aux dispositions de la présente loi et de ses textes d'application sont constatées par les agents habilités de l'administration de l'environnement, par tous officiers de police judiciaire ou par tous autres agents légalement habilités, notamment ceux des domaines, du cadastre, de l'urbanisme, des travaux publics, des eaux et forêts, de la marine marchande ou des mines.

Article 77 .- Les agents de l'administration de l'environnement mentionnés à l'article 76 ci-dessus sont des officiers de police judiciaire à compétence spéciale; à cet effet, pour légalement exercer leurs fonctions, ils doivent prêter serment devant la juri-

en mouvement par les associations de défense de l'environnement, les organisations non gouvernementales, les collectivités locales ou les communautés villageoises.

Article 83 .-La recherche et la constatation de l'infraction, la saisie des moyens de preuve dans les habitations et leurs annexes ne peuvent avoir lieu que dans les formes prescrites par le code de procédure pénale et en présence de deux témoins.

Article 84 .-Les objets constituant les éléments de preuve ou de début de preuve peuvent être saisis et sont susceptibles d'être restitués à leur propriétaire moyennant le paiement des frais de garde éventuels; s'ils présentent un danger pour l'environnement, ils peuvent être détruits par l'administration de l'environnement aux frais du contrevenant.

Article 85 .-Hormis les dispositions des articles ci-dessus, les règles du code de procédure pénale s'appliquent à la poursuite et au jugement des infractions prévues par la présente loi et par les textes pris pour application.

Article 86 .-Sont punis d'une amende de trois mille francs à vingt-quatre mille francs et d'un

jugement de condamnation fixe sous astreinte un nouveau délai dans lequel les responsables des installations classées existantes sont tenus de se conformer aux prescriptions de la présente loi. Passé ce délai, le tribunal prononce la fermeture provisoire ou définitive de l'installation demeurée en infraction.

Article 89.- Sont punies d'une amende de deux millions à cinquante millions de francs et d'un emprisonnement de six mois à deux ans, ou de l'une de ces deux peines seulement, les infractions ci-après :

1) l'exploitation d'une installation classée soumise à une mesure de suspension ou de fermeture prononcée par application de l'article 88 ci-dessus;

2) le non-respect des dispositions des articles 40 et 41 de la présente loi relatives aux substances dangereuses;

3) le non-respect des normes de qualité de l'environnement et des dispositifs d'équipement prévus aux articles 63 à 65 de la présente loi;

4) le non-respect des dispositions prises en application de l'article 11 paragraphe 2 de la présente loi relatives à l'introduction dans les eaux de substances nocives interdites ou soumises à autorisation préalable.

Article 90.-Les infractions non prévues par la présente loi relatives à la protection du milieu marin et côtier, de la faune, de la flore et des autres aires protégées sont poursuivies et réprimées conformément à la législation en vigueur en ces matières.

Article 91.-En cas de récidive judiciairement constatée, les peines prévues aux articles 87 à 90 ci-dessus sont portées au double.

Article 92.-Sans préjudice des sanctions répressives ci-dessus, les infractions à la présente loi peuvent entraîner des mesures administratives selon les conditions définies par voie réglementaire.

Article 93.-Les amendes prévues par la présente loi ainsi que par les textes pris pour son application sont recouvrées comme en matière d'enregistrement.

TITRE V -DISPOSITIONS FINALES

Article 94.-Les textes nécessaires à l'application de la présente loi seront pris en tant que de besoin.

Article 95.-Toutes les dispositions contraires à celles de la présente loi sont abrogées.

Article 96.-La présente loi sera enregistrée, publiée selon la procédure d'urgence et exécutée comme loi de

10) le non-respect des dispositions des articles 59 et 60 relatives aux fumées, poussières et lumières.

Article 88.- Sont punies d'une amende de deux cent cinquante mille francs à deux millions de francs et d'un emprisonnement de trois à six mois ou de l'une de ces deux peines seulement, les infractions ci-après :

1) tout acte ayant pour effet d'altérer au sens des articles 12 et 19 ci-dessus la qualité des eaux, ainsi que des autres ressources naturelles;

2) l'utilisation, la vente des pesticides ou d'autres substances chimiques à effets nocifs au mépris de l'article 17 de la présente loi;

3) le rejet d'effluents soumis à interdiction de rejet prévu par l'article 35 ci-dessus;

4) le non-respect des conditions d'autorisation préalable prévues à l'article 48 de la présente loi en matière d'exploitation des installations classées;

5) le non-respect des dispositions prévues à l'article 51 de la présente loi relatives aux installations existantes.

Dans le cas prévu au paragraphe 5 ci-dessus, le

Fait à Libreville, le 26 août 1993 E
Hadj Omar Bongo

Par le président de la République, chef de l'État,
Le premier ministre, chef du gouvernement,
Casimir Oye Mba

Pour le ministre des eaux et forêts, de la pêche et
de l'environnement, en mission,
Le ministre du contrôle d'État, de la réforme du
secteur parapublic et de la privatisation,
assurant l'intérim,
Paul Biyoghe Mba
Le ministre de la justice, garde des sceaux,
Serge Mba Bekale

Le ministre des finances, du budget et des
participations Paul Toungui

TABLE DE FIGURES

Figure 1 : Problématique de l'érosion côtière dans le golfe de Guinée (Quelennec, 1989, modifiée)	6
Figure 2 : Recul du trait de côte sur littoral septentrional du Gabon (modifié de Mombé, 2000) ..	7
Figure 3 : Localisation géographique de la flèche Mandji	10
Figure 4 : Carte générale de l'occupation du sol de la zone d'étude	11
Figure 5 : Répartition spatio-temporelle des facteurs climatiques, hydrodynamiques, sédimentologiques et anthropiques impliqués dans la dynamique sédimentaire des littoraux (Levoy, 2000; modifié).....	13
Figure 6: Système d'information géographique de la flèche Mandji	14
Figure 7 : Base de données rétro-littorales	18
Figure 8 : Base de données pré-littorales.....	21
Figure 9 : Base de données plages.....	23
Figure 10	30
Figure 11 : Reconstitution des paléo-positions du trait de côte depuis la transgression flandrienne	34
Figure 12 : Paléo-positions du trait de côte lors de la transgression flandrienne d'après Giresse (1969)	35
Figure 13 : Cartes anciennes du delta de l'Ogooué de 1660 à 1886 (source : Total Gabon, 2007)	36
Figure 14 : Plan levé du delta de l'Ogooué réalisée par Du Chaillu (1869)	37
Figure 15 : Evolutions du Cap Lopez à différents stades de son histoire récente (Bourgoin, 1963 p.4)	38
Figure 16 : Evolution de l'extrémité septentrionale de la flèche Mandji entre 1958 et 2008	39
Figure 17 : Essai de reconstitution paléogéographique de la flèche Mandji.....	40
Figure 18 : Aspects physiques de la flèche Mandji.....	43
Figure 19 : Délimitation des unités morphologiques de la flèche.....	45
Figure 20 : Typologie des sols de la flèche Mandji.....	48
Figure 21 : Caractéristiques sédimentologiques des estrans de la flèche sableuse	50
Figure 22 : Diamètre médian des échantillons de sédiments prélevés sur la côte du cap Lopez ..	52
Figure 23 : Répartition des grandes zones pluviométriques sur le littoral du Gabon.....	53
Figure 24 : Limite du bassin versant de l'Ogooué.....	55
Figure 25 : Illustration en 3D du delta de l'Ogooué	56
Figure 26 : MNT du canyon du Cap Lopez (situation de 1995).....	57
Figure 27 : Vue de l'axe principal du canyon (Elf Gabon, 1996).....	58
Figure 28 : MNT de la ponte Odden (situation de juillet 1971)	60
Figure 29 : Représentation en 3D de la baie de Port-Gentil	61
Figure 30 : Répartition de la population par quartier à Port-Gentil (modifiée).....	64
Figure 31 : Forçages en jeu dans la dynamique du trait de côte	67
Figure 32 : Contexte océanique actuelle et localisation du secteur d'étude.....	68
Figure 33 : Conditions de forçages météo-marins de la flèche Mandji	69
Figure 34 : Caractéristiques de la marée dans la baie du Cap Lopez	71
Figure 35: Les domaines de houle à l'échelle du golfe de Guinée par Guilcher (1985).....	72
Figure 36 : Statistiques des paramètres de houle dans le secteur du Cap Lopez (A- relation direction et hauteur 1/3 ; B-relation hauteur H1/3 et la période T1/3 ; C-répartition mensuelle en fréquence par rapport à la direction de provenance des houles).	73
Figure 37 : Houles de secteur Sud de période 12 s (SNEA-ELF GABON).....	75
Figure 38 : Houles de secteur Sud-ouest et de période 12 s dans la baie du Prince	76

Figure 39 : Circulation générale des courants de surface dans le golfe de Guinée (SHOM, 1980 : en janvier et en juillet).....	77
Figure 40 : Typologie des cellules hydrosédimentaires (Bray et al., 1995 ; Dolique, 1998 ; Stephan, 2009)	78
Figure 41 : Délimitation des cellules hydrosédimentaires sur le littoral de Mandji.....	79
Figure 42 : Nengabembé et pointe Clairette (Menie, 2010).....	84
Figure 43: Occupation du sol et artificialisation du trait de côte de la baie de Port-Gentil	86
Figure 44 : Occupation du sol et artificialisation du trait de côte de la pointe Akosso	87
Figure 45 : Barrages hydroélectriques actifs et en projet (D'après R. WALTER, 1983 ; in Géographie et cartographie du Gabon. Atlas illustré.IPN, modifiée).....	89
Figure 46 : Terminologie des différents domaines côtiers sableux en environnement tidale	93
Figure 47 : Classification morphodynamique des plages sous influence des houles et de la marée (Masselink & Short, 1993).....	95
Figure 48 : A-profil de plage 848A et B-photographie de la plage du phare.....	97
Figure 49 : Classification des plages de la flèche Mandji	98
Figure 50 : Localisation des transects de suivi de la cinématique du trait de côte entre 1962 et 2001	103
Figure 51 : Cinématique du trait de côte entre 1962 et 1974.....	105
Figure 52: Cinématique du trait de côte entre 1974 et 1990.....	108
Figure 53: Cinématique du trait de côte entre 1990 et 2001	110
Figure 54: Synthèse du déplacement du trait de côte entre 1962 et 2001.	112
Figure 55 : Profils de suivi de la courbe +2 m, zone Sud du phare	116
Figure 56 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone A.....	117
Figure 57 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone B	120
Figure 58 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone C	122
Figure 59 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone D	123
Figure 60 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone E.....	124
Figure 61 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone F	125
Figure 62 : Profils de suivi de la courbe +2m : zone G	126
Figure 63 : Zones F et G. représentation des positions successives du trait de côte entre 1958 et 2003	126
Figure 64 : Bilan de la cinématique de la courbe +2 m de 1974 à 2007.....	128
Figure 65 : Rapport [Dynamique sédimentaire/ Aménagement côtier] de 1958 à 1968 (Menie, 2007)	130
Figure 66 : Rapport [Dynamique sédimentaire/ Aménagement côtier] de 1968 à 1976 (Menie, 2007)	131
Figure 67 : Rapport [Dynamique sédimentaire/ Aménagement côtier] de 1976 à 1987 (Menie, 2007)	132
Figure 68 : Rapport [Dynamique sédimentaire/ Aménagement côtier] de 1987-2002 (Menie, 2007)	133
Figure 69 : Rapport [Dynamique sédimentaire/ Aménagement côtier] de 2002-2007 (Menie, 2007)	134
Figure 70 : Carte récapitulative de la dynamique du trait de côte entre 1958 et 2007	136
Figure 71 : Fonds marins situées entre la pointe du Phare et la pointe Renard.	137
Figure 72 : Fonds marins du secteur Est du Cap Lopez.	138
Figure 73 : Evolution des fonds marins zone Ouest entre 1958 et 1978.....	140
Figure 74 : Evolution des fonds marins zone Ouest entre 1978 et 1982.....	141
Figure 75 : Evolution des fonds marins zone Ouest entre 1982 et 2007	142
Figure 76 : Evolution des fonds marins zone Est entre 1971 et 1981	143

Figure 77 : Modèle en 3D de loupe de glissement de la pointe Odden (après le glissement de 1971)	143
Figure 78 : Evolution des fonds marins zone Est entre 1981 et 2007	144
Figure 79 : Rétrospective des glissements de la côte de la pointe Odden.....	145
Figure 80 : Localisation géographique des profils de la zone Ouest.....	145
Figure 81 : cinématique des profils PP1, PP2, PP3 et PP4 entre 1958 et 2007	146
Figure 82 : Estimation de la dynamique sédimentaire de la zone Ouest de 1958 à 2007	148
Figure 83 : Carte de synthèse des changements de la zone Ouest entre 1958 et 2007	149
Figure 84 : Carte de situation des profils au niveau du secteur Est du Cap Lopez	150
Figure 85 : Evolution des profils E1, E2, E3 et E4. Années 1971, 1981, 2004. Zone Est.....	151
Figure 86 : Synthèse des changements globaux entre 1971 et 2004 dans la zone Est	153
Figure 87 : Tableau synoptique des différents niveaux de traitement des images	157
Figure 88 : Compositions colorées des images Landsat TM du 07/02/1990 et ETM+ du 31/07/2001	158
Figure 89 : Etapes de la calibration radiométrique de la bande spectrale TM4 de la scène du 31/07/2001	161
Figure 90 : Localisation de la zone d'étude.....	162
Figure 91 : Végétation dunaire (<i>Alternanthera maritima</i> et <i>Ipomea pes-caprea</i>).....	163
Figure 92 : Plantes pionnières	164
Figure 93 : Savane humide (Vande Weghe, 2005).....	165
Figure 94 : Forêt littorale dans la région de Mandji	166
Figure 95 : Espèces dominantes dans la mangrove d'Ozouri.....	167
Figure 96 : Carte d'occupation du sol du segment de côte [Ozouri-Mbéga] en 1990	169
Figure 97 : Carte d'occupation du sol du segment de côte [Ozouri-Mbéga] en 2001	170
Figure 98 : Cartographie des transitions d'occupations du sol intervenu entre 1990 et 2001.....	176
Figure 99 : Carte de l'érosion côtière dans la région du Cap Lopez	191
Figure 100 : Carte de l'érosion côtière dans la région de Port-Gentil.....	192
Figure 101 : Carte de l'érosion côtière dans la région de N'tchengué.....	193
Figure 102 : Carte des enjeux patrimoniaux et socio-économiques au Cap Lopez	196
Figure 103 : Carte des enjeux socio-économiques du littoral de Port-Gentil (bande des 200 m par rapport au trait de côte). A- la répartition de la population et typologie des habitations ; B-enjeux économiques	197
Figure 104 : Organigramme du Ministère de l'équipement en charge de la protection côtière ..	199
Figure 105 : Schéma des démarches décisionnelles de protection côtière	202
Figure 106 : Ouvrages de protection de la pointe Clairette	207
Figure 107 : Ouvrages de protection côtière au Cap Lopez	208
Figure 108 : Brise-lames au niveau de la pointe du phare :	209
Figure 109 : Disposition des ouvrages de protection côtière sur le littoral de Port-Gentil	215
Figure 110 : Actions envisageable pour la formation des tombolos à l'arrière des brise-lames ..	219
Figure 111 : Situation des pipelines au niveau de la crique d'éléphant (Total Gabon, 2007).....	220
Figure 112 : Schéma de l'ouvrage proposé par COTRA GABON (Total Gabon, 2006).....	220
Figure 113 : Schéma d'ensemble des solutions sur le long terme	222

TABLE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 : Variations eustatiques sur le littoral gabonais depuis 15 000 BP (tracé B) et sur le littoral ivoirien depuis 25 000 BP (tracé A). (D'après Giresse, 1989 ; Clist, 1995 ; modifiée).....	31
Graphique 2 : Variation du niveau marin sur le littoral gabonais depuis 15 000 BP	32
Graphique 3 : Courbes granulométriques numérales cumulatives pour 4 échantillons.....	51
Graphique 4 : Histogramme des débits moyens mensuels du fleuve <i>Ogooué</i> . Mesures effectuées à la station hydrométrique de Lambaréné entre 1930 et 1975	54
Graphique 5 : Rose des vents delta de l'Ogooué	70
Graphique 6 : bilan surfacique de la mobilité du trait de côte entre 1962 et 1974	106
Graphique 7: Tendance globale de la cinématique du trait de côte entre 1962 et 1974	107
Graphique 8: Contribution surfacique de la mobilité du trait de côte entre 1974 et 1990	109
Graphique 9: Tendance globale de la cinématique du trait de côte entre 1974 et 1990	109
Graphique 10: Contribution surfacique de la mobilité du trait de côte entre 1990 et 2001.....	111
Graphique 11: Tendance globale de la cinématique du trait de côte entre 1990 et 2001.....	111
Graphique 12 : Profils (P-P4) de l'axe du canyon en 1958 et en 1978.....	140
Graphique 13 : Evolution de l'axe principal du canyon entre 1958 et 2007	148
Graphique 14 : Bilan [érosion/engraissement] entre 1971 et 2007 (en m ³)	154
Graphique 15 : Signatures spectrales à partir de l'image Landsat ETM+ du 31/07/2001	168
Graphique 16 : Répartition du taux d'extension spatiale moyen annuel par classe d'occupation du sol.....	174
Graphique 17 : Part de l'occupation du sol restée stable entre 1990 et 2001	177
Graphique 18 : Affectation de la classe eau.....	177
Graphique 19 : Réorganisation de la couverture végétale supratidale entre 1990 et 2001.....	178
Graphique 20 : Réorganisation de la plage entre 1990 et 2001.....	178
Graphique 21 : Synthèse de la cinématique du trait de côte de la flèche Mandji.....	182
Graphique 22 : Le coût de la prévention de l'érosion côtière au Cap Lopez	212

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Paramètres environnementaux.....	94
Tableau 2 : Les sources de données	100
Tableau 3 : Listes des cartes bathymétriques du Cap Lopez	139
Tableau 4 : Caractéristiques des images satellites.....	158
Tableau 5 : Matrice de confusions issues des classifications des images de 1990 et de 2001.....	171
Tableau 6 : Estimation de la qualité de l'usager et du producteur des classifications.....	172
Tableau 7 : Taux d'extension spatiale moyen annuel entre 1990 et 2001	173
Tableau 8 : Matrice de changements d'occupation du sol entre 1990 et 2001	175
Tableau 9 : Rétrospective des événements majeurs survenus aux Cap Lopez	185
Tableau 10 : Descripteurs des enjeux	195
Tableau 11 : Valorisation des enjeux par application du Produit Intérieure Brut de Port-Gentil	195
Tableau 12 : Description des enjeux sociaux par quartier du littoral de Port-Gentil	196

TABLE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 1 : Impact de l'érosion au Sud du Phare du Cap Lopez (Elf Gabon, 1999)	8
Photo 2 : Glissement de la pointe Odden en juillet 1971 (Elf Gabon, 1971)	8
Photo 3 : Vue aérienne du Cap Lopez (Total Gabon, 2005)	62
Photo 4 : Orthophotoplan de Port-Gentil (IGN, 1988)	63
Photo 5 : Terminal pétrolier (Total Gabon, 2006)	81
Photo 6 : Aménagement de la pointe du phare par des brise-lames (Menie, 2007)	82
Photo 7 : Forage on shore sur le cordon dunaire à l'Ouest de Port-Gentil-Océan (Total Gabon, 2006)	83
Photo 8 : Complexe touristique de la plage du Dahu (Menie, 2007)	84
Photo 9 : Extraction de sable de plage au Nord de Port-Gentil (Menie, 2007)	88
Photo 10 : Situation de la plage au Sud du phare en 1999 et de 2007	119
Photo 11 : Vue de la zone B en avant et après 1999	121
Photo 12 : Vue aérienne du champ d'épis au nord de la pointe Renard (série de 1968)	125
Photo 13 : Recul du trait de côte au Sud du terminal (Menie, 2007)	183
Photo 14 : Destruction de la nationale L123 en Mai 2007 (Menie, 2007)	186
Photo 15 : impact de l'érosion sur la L123 en Mars 1999	186
Photo 16 : Destruction du mur de protection « Saout » (Menie, 2007)	187
Photo 17 : Dégradation des palplanches le long du bord de mer de Port-Gentil (Mombe, 2000)	188
Photo 18 : Déracinement des badamiers sur le haut de plage (Mombé, 2000)	189
Photo 19 : Perré en béton détruit par les vagues sur le front de mer de Port-Gentil	204
Photo 20 : Rideau de palplanches sur le front de mer de Port-Gentil (Menie, 2007)	205
Photo 21 : Digue en béton à Port-Gentil (Mombé, 2000)	205
Photo 22 : Protection de la côte par des boudins	206
Photo 23 : Le mur de protection en béton latérite au sud du phare	210
Photo 24 : Le mur « SAOUT » au Nord du phare	211
Photo 25 : Epis en palplanches secteur Nord – ouest Cap Lopez	211

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1A : Suivi de la ligne de côte +2m-Profil 91	239
Annexe 2A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 92	240
Annexe 3A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 93	241
Annexe 4A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 94	242
Annexe 5 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 95	243
Annexe 6 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 96	244
Annexe 7A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 87	246
Annexe 8 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 86	247
Annexe 9 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 85	248
Annexe 10 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 848.....	249
Annexe 11 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 1	250
Annexe 12A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 6TerN.....	251
Annexe 13A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 6TerNW	252
Annexe 14 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 6TerW	253
Annexe 15 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 11	254
Annexe 16 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 17	255
Annexe 17A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 22 bis	257
Annexe 18A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 25	258
Annexe 19 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil IV A	259
Annexe 20 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil VA.....	260
Annexe 21 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 42 B.....	261
Annexe 22A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 44 B.....	262
Annexe 23 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 6	263
Annexe 24A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 49	264
Annexe 25 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 50	265
Annexe 26 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 2	266
Annexe 27A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 56A.....	267
Annexe 28A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil VIII B.....	268
Annexe 29A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil CD3.....	269
Annexe 30A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil A68D.....	270
Annexe 31A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil A68E	271
Annexe 32 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 71.1A	272
Annexe 33 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 71.2.....	273
Annexe 34A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 71.3.....	274
Annexe 35 A: suivi de la ligne de côte +2m-Profil 71.4.....	275
Annexe 36A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 71.5C	276
Annexe 37A : suivi de la ligne de côte +2m-Profil 71.6B	277
Annexe 38 : Modèle script de traitement radiométrique et atmosphérique	278
Annexe 39 : Arrêté préfectoral sur l'interdiction d'extraction de sable de plage à Port-Gentil	279
Annexe 40 : Extrait du journal «Union» et le rôle de prévention des acteurs locaux ici le Dr. MOMBE NGUEMA Julien.....	280
Annexe 41 : Le code de l'environnement de la République Gabonaise	281

TABLE DE MATIÈRES

AVANT-PROPOS	2
INTRODUCTION GENERALE	5
Chapitre 1 : CONTEXTE ACTUEL ET ÉVOLUTION DE LA FLÈCHE LITTORALE DEPUIS LA TRANSGRESSION FLANDRIENNE	26
INTRODUCTION.....	27
1.1-DE L’HOLOCENE AU CONTEXTE OCEANIQUE ACTUEL.....	28
1.1.1-Analyse diachronique des évolutions Holocènes	28
a) Données.....	28
b) Méthode et traitement des données	29
c) Données bibliographiques	31
d) Résultats et analyses	33
1.1.2-Evolution pluriséculaire de la flèche Mandji.....	36
a) Période de 1660 à 1886	36
b) Période de 1885 à 1957	37
c) Période 1958-2008	39
1.1.3-Reconstitution paléogéographique de la flèche	39
a) Du cycle antérieur au cycle actuel	41
b) Cycle actuel	41
1.1.4-Conclusion partielle	42
1.2 –PRÉSENTATION PHYSIQUE ET DEGRÉ D’ANTHROPISATION	43
1.2.1-La flèche Mandji	43
a) Morphologie	44
b) Altimétrie.....	44
c) Type de sol et végétation.....	47
d) Etude sédimentologique	49
e) Données climatologiques du littoral	53
f) Hydrographie des petits fonds marins.....	56
g) Synthèse du contexte géomorphologique	61
1.2.2- Urbanisation et artificialisation du trait de côte	61
a) Cap Lopez.....	62

b) La ville de Port-Gentil.....	63
Chapitre 2 : FORCAGES ACTUELS EXPLICATIFS DE LA CINÉMATIQUE DU TRAIT DE CÔTE .	66
INTRODUCTION.....	67
2.1-LES AGENTS DE LA DYNAMIQUE LITTORALE	68
2.1.1-Les données de vents dans la région de Port-Gentil.....	69
2.1.2-La marée et les courants de marée	70
2.1.3-Les houles	71
a) Les houles de provenance Sud	74
b) Les houles de provenance Sud-ouest.....	75
2.1.4-Courants de surface	77
2.2- LES CELLULES HYDROSEDIMENTAIRES	78
2.2.1 Côte Ouest.....	80
2.2.2-Côte Est.....	80
2.3-EMPRISE HUMAINE ET MODIFICATION DU TRAIT DE CÔTE	81
2.3.1-Intervention de l'homme dans le secteur du Cap Lopez	81
a) Les installations pétrolières.....	81
b) Les ouvrages de protection côtière.....	82
2.3.2-Forage des puits de pétrole.....	83
2.3.3-Emprise des actions anthropiques sur le front de mer de Port-Gentil.....	83
a) Nengabembé – Pointe Clairette (fig.42)	83
b) SOGARA au môle du « vieux port »	85
c) Hôtel Méridien -Matanda.....	87
2.3.4-L'extraction du sable de plage	88
2.3.5-La construction des barrages hydroélectriques et les projets en cours de réalisation dans le bassin de l'Ogooué.....	89
2.4-CONCLUSION PARTIELLE	90
Chapitre 3 : CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE ET ÉVOLUTION DES PETITS FONDS MARINS	91
INTRODUCTION.....	92
3.1-MORPHODYNAMIQUE DU SYSTEME COTIER EN ENVIRONNEMENT TIDAL	93
3.1.1- Quelques aspects bibliographiques.....	93
a) Rôle des marées	93

b) Classification semi-quantitative de la morphologie des plages	94
3.1.2.-Caractéristiques du site d'étude	97
a) Exemple de la plage de la pointe du Phare	97
b) Application des indices K et RTR aux plages de la flèche Mandji	98
3.2-APPROCHE GLOBALE DE LA CINÉMATIQUE DU TRAIT DE COTE DE LA FLECHE MANDJI ENTRE 1962 ET 2001.....	99
3.2.1-Le choix d'une ligne de référence	99
3.2.2-Matériel et méthode	99
a) Données sources	100
b) Prétraitement des données	100
c) Estimation de la marge d'erreur globale	101
d) Mesure de la cinématique du trait de côte.....	102
3.2.3-Résultats et interprétations	104
a) Phase composite (1962-1974)	104
b) Phase de recul du trait de côte [1974-1990].....	107
c) Stabilisation et reprise de la sédimentation du littoral [1990 et 2001].....	110
3.2.4-Bilan de l'approche globale de la cinématique du trait de côte entre 1962 et 2001.....	112
a) Accrétion - stabilité du trait de côte	113
b) Le recul du trait de côte	113
3.3-APPROCHE SECTORIELLE DE LA CINÉMATIQUE DU TRAIT DE COTE : ZOOM SUR LE CAP LOPEZ.....	114
3.3.1- Données et méthode de quantification	115
3.3.2- Levé sectoriel de la courbe +2m.....	115
a) Zone Sud du phare.....	115
b) Zones A.....	117
c) Zones B.....	119
d) Zones C.....	121
e) Zones D	123
f) Zones E	124
g) Zones F et G	125
3.3.3-Synthèse de la dynamique de la courbe +2m	127
3.4- IMPACT DES OUVRAGES DE PROTECTION CÔTIÈRE SUR LA CINEMATIQUE DU TRAIT DE CÔTE DE 1958 À 2007	129

3.4.1-Période de 1958 à 1968 (fig.65)	129
3.4.2-Période 1968-1976 (fig.66)	130
3.4.3-Période 1976-1987 (fig.67)	131
3.4.4-Période 1987-2002 (fig.68)	133
3.4.5-Période 2002-2007 (fig.69)	134
3.4.6-Synthèse de la dynamique du trait de côte 1958-2007 (fig.70)	135
3.5-ANALYSE DIACHRONIQUE DE L'ÉVOLUTION DES PETITS FONDS MARINS ENTRE 1958 ET 2007 : SECTEUR DU CAP LOPEZ	136
3.5.1- Présentation des zones d'étude	137
a) La zone Ouest.....	137
b) Zone Est.....	138
3.5.2-Cartographie de l'évolution des fonds marins entre 1958 et 2004.....	139
a) Zone Ouest.....	139
b) Zone Est.....	142
3.5.3- Analyse des profils bathymétriques longitudinaux de la zone d'étude 1958 à 2007.....	145
a) Zone Ouest.....	145
b) Zone Est.....	150
3.5.4- Bilan de l'évolution des petits fonds marins entre 1971 et 2007	154
CHAPITRE 4 : EVOLUTION DE LA ZONE RETROLITTORALE ENTRE 1990 ET 2001	155
INTRODUCTION.....	156
4.1-MATERIELS ET METHODE	157
4.1.1-Matériels et données	158
a) Les données Landsat.....	158
b) Le Matériel utilisé.....	159
4.2-LES IMAGES SATELLITALES ET LEURS TRAITEMENTS.....	160
4.2.1-Opérations de prétraitements sur les images.....	160
4.3-CLASSIFICATION DES IMAGES LANDSAT TM 1990 ET ETM+ 2001	162
4.3.1-Description des 6 classes d'occupation retenues	163
a) La savane	163
b) La forêt (hygrophile et psammophile)	165
c) L'eau	167
d) Les plages ou sol nu sableux	167

e) Le déferlement des vagues.....	168
4.3.2-Résultats des classifications.....	168
a) Signatures spectrales des échantillons des classes d'occupation du sol.....	168
b) Résultats cartographiques des classifications.....	169
4.4- EVALUATION DES CLASSIFICATIONS DES IMAGES	171
4.5- ANALYSE STATISTIQUE DES CHANGEMENTS DE L'OCCUPATION DU SOL ENTRE 1990 ET 2001	173
4.5.1-Approche statistique de l'information brute extraite des deux classifications	173
a) Résultats	173
b) Commentaires	174
4.5.2- Les changements d'occupation du sol entre 1990 et 2001	175
a) Résultats bruts	177
b) Commentaires	179
4.6- CONCLUSION PARTIELLE	180
CHAPITRE 5 : ANALYSE ET GESTION DE L'EROSION COTIERE DANS LA FLÈCHE MANDJI	181
INTRODUCTION.....	182
5.1-IMPACTS DE L'ÉROSION CÔTIÈRE	183
5.1.1-Destruction des aménagements situés en bordure de mer.....	183
a) Les habitations	183
b) Les installations pétrolières	183
5.1.2-Destruction des voies de communication	186
5.1.3-Destruction des ouvrages de protection côtière.....	187
5.1.4- Dégradation de l'environnement	188
5.2- CARTOGRAPHIE DE L'ALEA.....	189
5.3-ENJEUX SUR LE LONG TERME ET LEUR CARTOGRAPHIE.....	194
5.3.1- Descripteurs des enjeux.....	194
5.3.2- Cartographie des enjeux.....	196
a) Cap Lopez.....	196
b) Port-Gentil.....	197
5.4-REMEDIATION : ACTIONS A MENER.....	198
5.4.1- Organisation du traitement de l'érosion	198
5.4.2- Acteurs en charge de la protection de la côte	198

a) Les pouvoirs publics	198
b) Office des Ports et Rades du Gabon (O.P.R.A.G).....	200
c) Les sociétés privées : l'exemple de TOTAL GABON.....	200
d) Les particuliers	201
5.4.3- Les niveaux décisionnels de lutte contre l'érosion côtière	201
5.4.4- Les ouvrages de protection côtière	204
a) Le littoral de Port-Gentil.....	204
b) Le littoral du Cap Lopez	207
5.4.5- Le coût de la protection côtière : estimation faite sur le secteur du Cap Lopez	212
5.4.6- Lacunes et limites de la stratégie de protection côtière	212
5.4.7- Actions envisageables sur le long terme	215
a) Mesures et études complémentaires	216
b) Actions à court terme	218
c) Actions à mener sur le long terme	220
CONCLUSION GÉNÉRALE	224
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	226
ANNEXES	236
ANNEXE A1 : approche globale de la mobilité du trait de côte entre 1962 et 2001 – quantification du déplacement par profil (valeurs en mètre).....	237
ANNEXE A2 : suivi de la ligne de côte +2 m	238
ANNEXE B : Modèle script de traitement radiométrique et atmosphérique.....	278
ANNEXE C : Actions locales de lutte contre l'érosion côtière au GABON	279

RESUMÉ

La reconstitution de l'évolution du rivage de la flèche Mandji, et en particulier des secteurs de Port-Gentil et du Cap Lopez, a été réalisée pour la période de l'Holocène à l'actuel, par fusion de multiples sources iconographiques (cartes et plans historiques, cartes marines, photographies aériennes, images satellites, mesures de terrain) permettant ainsi l'analyse des impacts naturels et des actions anthropiques sur cette partie du littoral gabonais. L'étude de l'évolution historique du trait de côte a été réalisée en s'appuyant sur les datations au C14 des paléoenvironnements. Les plans levés et les cartes couvrant la période de 1660 à 1886 ont permis de comprendre les étapes pluriséculaires de la morphogenèse de la flèche. Concernant les dates les plus récentes, on a eu recours aux photographies aériennes de 1945, 1957, 1988, à deux images Landsat TM de 1990 et ETM+ de 2001, à une série de cartes marines couvrant la période 1962-2007, à un suivi régulier de la position de la laisse de haute mer par Total Gabon. Ces documents numérisés sont intégrés et gérés par un Système d'Information Géographique (SIG) afin de produire la donnée relative à la dynamique du littoral. La mobilité du trait de côte a été décrite et quantifiée pour la période allant de 1962 à 2007 et se solde par un recul important, particulièrement le long des secteurs urbanisés, ce qui constitue une menace potentielle pour les installations humaines. Cette thèse est une mise au point sur la question de l'évolution de la flèche Mandji et des risques naturels induits. Elle propose quelques remèdes envisageables à court et à long terme.

Mots clés : Flèche Mandji, morphodynamique, trait de côte, érosion côtière, risque naturel, SIG, télédétection.

ABSTRACT

Mandji spit evolution during Holocen period (and in particular Port-Gentil and Cape Lopez sections), was computed using multiple iconographic sources, (maps and historic plans, nautical charts, aerial photos, satellite pictures, situ measurements). This allows analysis of the natural impacts and the anthropogenic actions on this gabonese coast. The long term evolution of the coastline was determined with the use of the C14 datation of paleoenvironments. The medium term evolution is provided by ancient available maps which emphasized spit morphogenesis steps over the period 1660-1886. Concerning the short term, we have used aerial photos registered in 1945, 1957, 1988; two Landsat TM images registered in 1990 and an ETM + Landsat image from 2001. Moreover, a set of nautical charts by Total Gabon from 1962 to 2007 underlines the position of the high-water line during this period. A Geographical Information System (GIS) allowing storage and management of these data is built up to produce statistic and spatial information relative to the dynamics of the shoreline. Coastline mobility was showed and quantified for period 1962-2007. The mains results of this analysis reveal an important erosion of the coast particularly along its urbanized part, which constitutes a real threat for the human installations. Hence, this thesis gives a wide overview of the evolution of Mandji spit and its natural hazards and brings propositions of mitigation over the short, medium and long term.

Keywords: Mandji spit, beach morphodynamic, coastline, erosion, mitigation, GIS, remote sensing.